



TESIS TE142599

**PENGATURAN KECEPATAN GERAK KURSI RODA  
ELEKTRIK SAAT MELINTASI JALAN MENANJAK DAN  
MENURUN BERBASIS *SUBJECT INTENTION VARIABLE  
SPEED MENGGUNAKAN SINYAL BIOELECTRICAL  
IMPEDANCE***

Arizal Mujibtamala Nanda Imron  
NRP 2213204005

Dosen Pembimbing :  
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.  
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN ELEKTRONIKA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



TESIS TE142599

**THE SETTING OF ELECTRIC WHEELCHAIR MOTION  
SPEED WHEN TRAVERSE THE UPHILL AND DOWNHILL  
ROADS BASED ON *SUBJECT INTENTION VARIABLE*  
SPEED USING BIOELECTRICAL IMPEDANCE SIGNAL**

Arizal Mujibtamala Nanda Imron  
NRP 2213204005

Supervisor :  
Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.  
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.

MAGISTER PROGRAM  
FIELD IN ELECTRONICS  
ELECTRICAL DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya dengan judul ” **Pengaturan Kecepatan Gerak Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun Berbasis *Subject Intention Variable Speed Menggunakan Sinyal Bioelectrical Impedance***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2016

Arizal Mujibtamala Nanda Imron

NRP. 2213204005



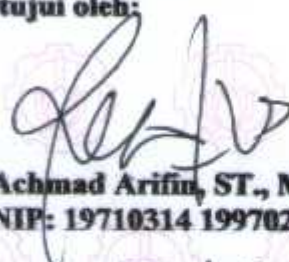
**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)**

**di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

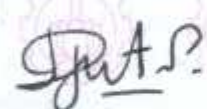
**Oleh:  
Arizal Mujibtamala Nanda Imron  
Nrp. 2213204005**

**Tanggal Ujian : 7 Januari 2016  
Periode Wisuda : Maret 2016**

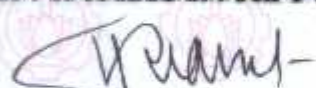
**Disetujui oleh:**

  
**1. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.  
NIP: 19710314 199702 1 001**


**(Pembimbing 1)**

  
**2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.  
NIP: 19651211 199002 1 002**


**(Pembimbing 2)**

  
**3. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.  
NIP: 19700212 199512 1 001**

**(Penguji)**

  
**4. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.  
NIP: 19690426 199403 1 003**

**(Penguji)**

  
**5. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.  
NIP: 19810118 200312 1 003**

**(Penguji)**



**Direktor Program Pascasarjana,**

  
**Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP: 19601202 198701 1 001**



# **PENGATURAN KECEPATAN GERAK KURSI RODA ELEKTRIK SAAT MELINTASI JALAN MENANJAK DAN MENURUN BERBASIS *SUBJECT INTENTION VARIABLE SPEED* MENGGUNAKAN SINYAL *BIOELECTRICAL IMPEDANCE***

Nama Mahasiswa : Arizal Mujibtamala Nanda Imron

NRP : 2213204005

Pembimbing : Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

Co-Pembimbing : Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Pengaturan kecepatan gerak kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun berbasis *subject intention variable speed* menggunakan sinyal *bioelectrical impedance* adalah Penelitian yang memanfaatkan sinyal *bioelectrical impedance* (*bioimpedance*) tubuh sebagai pengaturan kecepatan gerak kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun, dimana terdapat tiga kecepatan yang dapat dipilih oleh pengguna kursi roda sesuai dengan yang diinginkan, tiga variabel kecepatan tersebut adalah kecepatan 1, kecepatan 2 dan kecepatan 3, masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit. Penelitian ini perlu dilakukan karena dalam kehidupan sehari-hari banyak penderita kelumpuhan yang mendapat kesulitan untuk melakukan mobilitas, salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk membantu penderita kelumpuhan adalah dengan bantuan kursi roda elektrik. Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda kontrol PID dimana sinyal *bioimpedance* digunakan sebagai pengatur kecepatan gerak kursi roda elektrik dengan sensor rotary encoder dan gyroscopo digunakan untuk umpan balik metoda kontrol PID. Pada penelitian ini metoda kontrol PID digunakan sebagai kontrol kestabilan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun. Hasil dari pengujian menunjukkan keberhasilan memberikan perintah kontrol rata-rata sebesar 77% untuk pengujian pada jalan datar dan 76% pada jalan tanjakan maupun menurun, dengan RMSE sebesar 3,24 meter permenit untuk pengujian di jalan datar, 6,32 meter permenit untuk pengujian di jalan tanjakan dan 5,10 meter permenit untuk pengujian di jalan menurun. Persentase perbandingan antara RMSE kecepatan kursi roda terhadap rata-rata *set point* selama pengujian sebesar 0,24 % pada pengujian di jalan datar, 0,5 % pada pengujian di jalan tanjakan dan 0,57 % pada pengujian di jalan menurun

**Kata kunci :** *Bioimpedance*, Kontrol PID, Kursi Roda, *Subject Intention Variabel Speed*.



# **THE SETTING OF ELECTRIC WHEELCHAIR MOTION SPEED WHEN TRAVERSE THE UPHILL AND DOWNHILL ROADS BASED ON SUBJECT INTENTION VARIABLE SPEED USING BIOELECTRICAL IMPEDANCE SIGNAL**

Name : Arizal Mujibtamala Nanda Imron

Student Identity Number : 2213204005

Supervisor : Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.

Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

## **ABSTRACT**

The setting of wheelchair mobile when it traverse the uphill and downhill road based on subject intention variable speed using bioelectrical impedance signal is a research which uses body as the the setting of wheelchair mobile when it traverse the uphill and downhill road, which it is consisted of three level speeds that can be selected by wheelchair users as they want, those three speed variables are speed 1, speed 2, and speed 3, each of them by about 17,6 metres per minute, 26,4 metres per minute, and 35,2 metres per minute. This research must be done because in our daily life there are many people with paralysis getting difficult to do some mobilities, one of our alternatives that can be used to help people with paralysis is the helping of electric wheelchair. The method used in this research is PID control method which the bioimpedance signal is used by rotary encoder censored and gyroscope used as a feedback of PID control method. In this research, PID control method used as the stability control of wheelchair's speed when it traverse the uphill and downhill road. The result of this research shows the success of giving a control command in average by about 77% for the trial on flat road and by about 76% on uphill or downhill road, with RMSE by about 3,24 metres per minute for the trial on flat road, 6,32 metres per minute for the trial on uphill road, and 5,10 metres per minute for the trial on downhill road. The comparison percentage between RMSE of wheelchair's speed to the average of set point during the trial is about 0,24% for the trial on flat road, 0,5% for the trial on uphill road, and 0,57% for the trial on downhill road.

**Keywords:** Bioimpedance, PID control, Subject Intention Variabel Speed, Wheelchairs.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul “Pengaturan Kecepatan Gerak Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun Berbasis *Subject Intention Variable Speed Menggunakan Sinyal Bioelectrical Impedance*” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

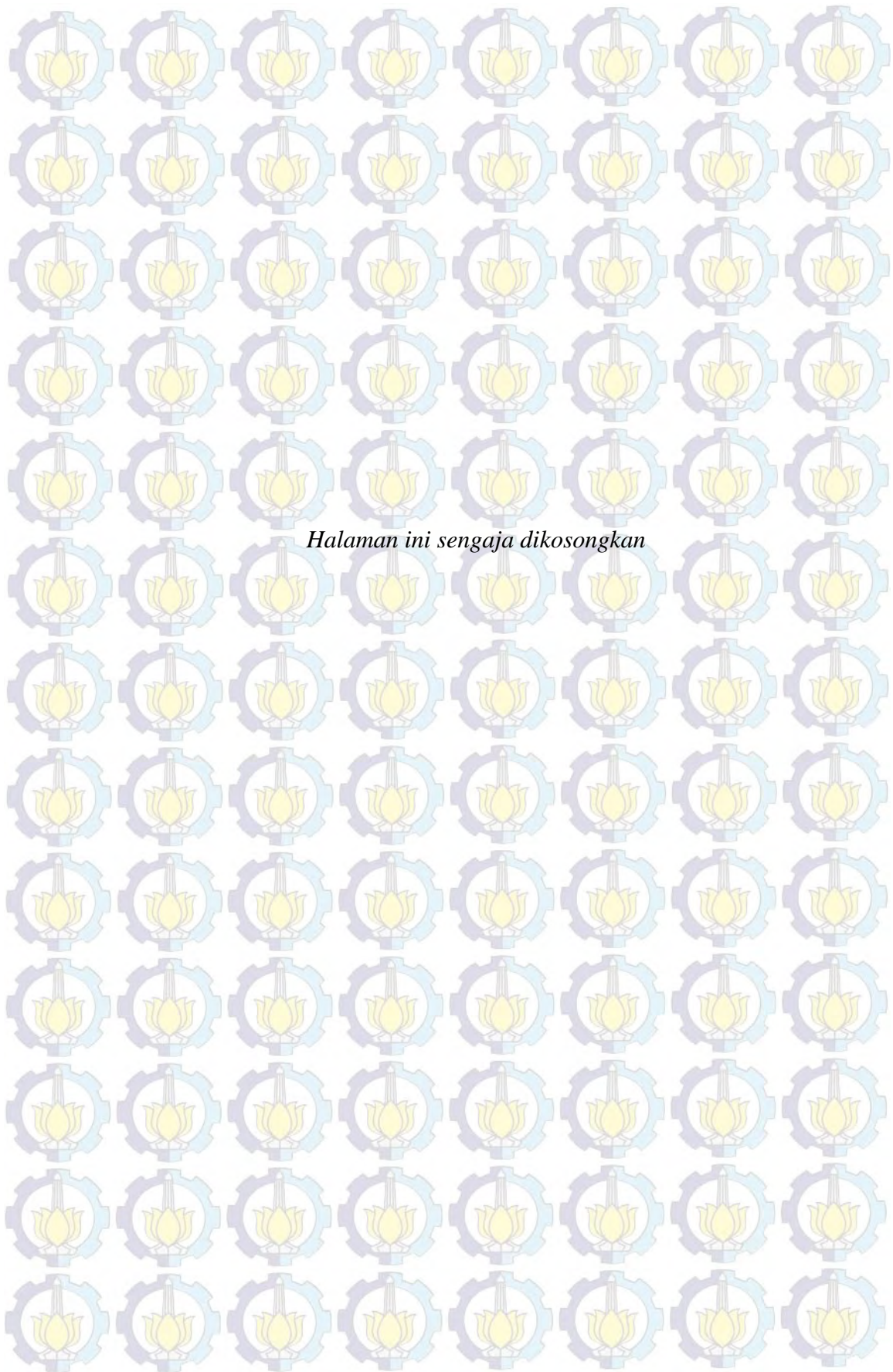
1. Mama dan Ayah atas segala dukungan dan doanya hingga sampai terselesaikannya tesis ini,
2. Bapak Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing dan koordinator Bidang Studi Elektronika,
3. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing dan koordinator program Pasca Sarjana jurusan Teknik elektro,
4. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh kuliah,
5. Teman-teman mahasiswa bidang studi elektronika atas segala bantuan dan sumbangan pikiran dan tenaga dalam menyelesaikan tesis ini,
6. Teman-teman kos Klampis Aji 2 no. 29,
7. Yang terakhir ucapan terima kasih untuk kamu yang selalu memberi semangat dan doa.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, Januari 2016

Penulis







## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| PENGESAHAN .....   | i   |
| ABSTRAK .....  | iii |
| ABSTRACT .....   | v   |
| KATA PENGANTAR .....   | vii |
| DAFTAR ISI .....   | ix  |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xi  |
| DAFTAR TABEL .....   | xv  |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....  | 1   |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1   |
| 1.2 Perumusan Masalah.....   | 4   |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat.....  | 4   |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 4   |
| 1.5 Keluaran yang diharapkan.....  | 4   |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....                                  | 5   |
| 2.1 <i>Bioimpedance</i> dan Pengukurannya.....                             | 5   |
| 2.2 Kursi Roda dengan <i>Power Asisted</i> .....                           | 8   |
| 2.3 Kursi Roda dengan Joystick.....  | 10  |
| 2.4 Kursi Roda dengan <i>Bioimpedance</i> .....                            | 12  |
| 2.5 <i>Fishbone Diagram</i> .....  | 14  |
| 2.6 Ziegler Nichols untuk <i>Tunning</i> Parameter PID.....                | 14  |
| BAB 3 METODE PENELITIAN.....   | 17  |
| 3.1 Mekanisme Gerak Kursi Roda .....                                       | 17  |
| 3.1.1 <i>State</i> Diagram Kursi Roda Elektrik .....                       | 19  |
| 3.1.2 <i>Thresholding</i> .....  | 19  |
| 3.1.3 Klasifikasi.....   | 20  |
| 3.1.4 Perintah Kontrol.....  | 20  |
| 3.2.1 Mekanisme Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun ..... | 23  |
| 3.2 Perubahan <i>set point</i> saat Berhenti.....                          | 24  |
| 3.3 <i>Tunning</i> Parameter PID .....                                     | 26  |



|  |    |
|--|----|
| BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM ..... | 33 |
|--|----|

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 4.1 Pengujian Parameter PID ..... | 33 |
|-----------------------------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 4.2 Pengujian Dasar..... | 38 |
|--------------------------|----|

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 4.3 Pengujian pada Jalan Datar ..... | 40 |
|--------------------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 4.4 Pengujian pada jalan Menanjak ..... | 43 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| 4.5 Pengujian pada jalan Menurun ..... | 46 |
|--|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| BAB 5 PENUTUP..... | 49 |
|--------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 49 |
|---------------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 5.2 Saran ..... | 49 |
|-----------------|----|

## DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR GAMBAR

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 2.1.  | Model Pendekatan Rangkaian Elektronika dari Satu Sel oleh Webster .....     | 5  |
| Gambar 2.2.  | Model Pendekatan Elektronika dari Jaringan Tubuh oleh Grimes Dkk .....      | 6  |
| Gambar 2.3.  | Dua Metode Pemasangan Elektroda Pengukuran Bioimpedance oleh Tabuenca ..... | 6  |
| Gambar 2.4.  | Penempatan Elektroda pada Tubuh oleh Yunfei .....                           | 7  |
| Gambar 2.5.  | Diagram Blok Sistem Instrumentasi <i>Bioimpedance</i> oleh Sardi .....      | 7  |
| Gambar 2.6.  | Diagram Blok Kursi Roda dengan Power Asisted oleh Seki Dan Kiso .....       | 8  |
| Gambar 2.7.  | Konfigurasi Kursi Roda oleh Seki dan Kiso .....                             | 8  |
| Gambar 2.8.  | Hasil Pengujian pada Jalan Menanjak oleh Seki dan Kiso.....                 | 9  |
| Gambar 2.9.  | Hasil Pengujian pada Jalan Kasar oleh Seki dan Kiso .....                   | 9  |
| Gambar 2.10. | Grafik Efisiensi oleh Seki dan Kiso .....                                   | 10 |
| Gambar 2.11. | Model Kursi Roda oleh Widyotriatno .....                                    | 10 |
| Gambar 2.12. | Diagram Blok Kontrol Kursi Roda oleh Widyotriatno .....                     | 11 |
| Gambar 2.13. | Grafik Pengujian oleh Widyotriatno .....                                    | 11 |
| Gambar 2.14. | Gambar Kursi Roda oleh Ermado .....   | 12 |
| Gambar 2.15. | Diagram Blok Keseluruhan Sistem oleh Ermado .....                           | 13 |
| Gambar 2.16. | Grafik Hasil Pengujian oleh Ermado .....                                    | 13 |
| Gambar 2.17. | <i>Fishbone Diagram</i> .....   | 14 |
| Gambar 2.18. | Reaksi Sistem Open Loop Ketika Diberi Masukan Fungsi <i>Step</i> ...        | 15 |
| Gambar 2.19. | Kurva Reaksi .....  | 15 |
| Gambar 3.1.  | Diagram Blok Keseluruhan Sistem .....                                       | 18 |
| Gambar 3.2.  | <i>State Diagram</i> Kontrol Gerak Kursi Roda Elektrik.....                 | 19 |
| Gambar 3.3.  | Proses Pemberian Perintah Kontrol.....                                      | 20 |
| Gambar 3.4.  | Diagram Alir Klasifikasi Kecepatan Kursi Roda Elektrik .....                | 21 |
| Gambar 3.5.  | Ilustrasi saat Akan Melintasi Jalan Menanjak .....                          | 23 |
| Gambar 3.6.  | Ilustrasi saat Akan Melintasi Jalan Menurun .....                           | 24 |

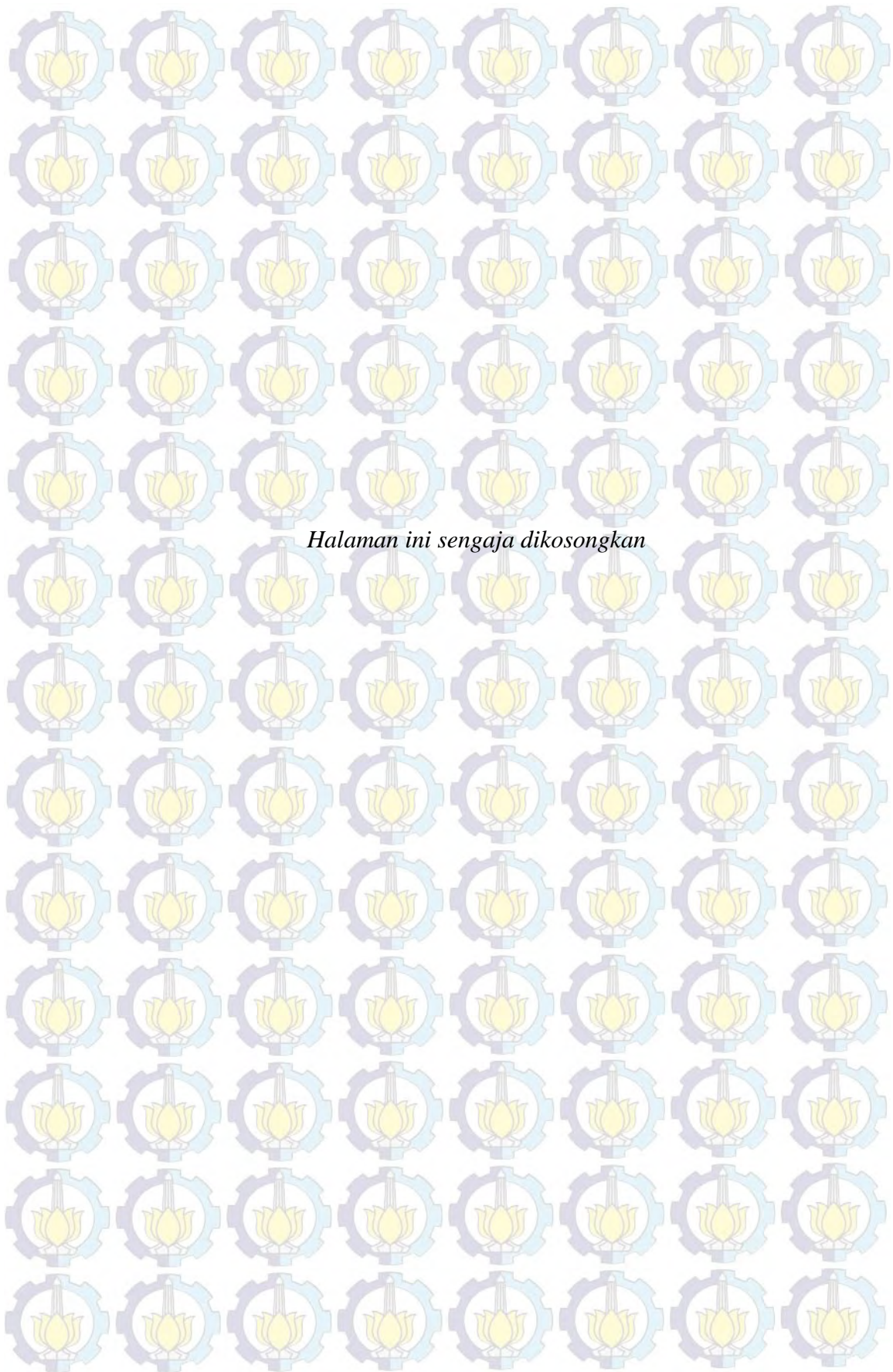


|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 3.7.  | Ilustrasi Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun                                    | 24 |
| Gambar 3.8.  | Persamaan Garis Melalui Dua Titik .....   | 25 |
| Gambar 3.9.  | Penentuan Parameter dengan Metode Ziegler Nichols .....   | 27 |
| Gambar 3.10. | Respon Motor Terhadap Perhitungan Parameter PID<br>Ziegler Nichols .....                          | 27 |
| Gambar 3.11. | Respon Motor dengan Nilai $K_P = 0,24$ .....  | 27 |
| Gambar 3.12. | Respon Motor dengan Nilai $T_I = 0,6$ .....   | 27 |
| Gambar 3.13. | Respon Motor dengan Nilai $T_I = 1,5$ .....   | 28 |
| Gambar 3.14. | Respon Motor dengan Nilai $T_D = 0,15$ .....  | 28 |
| Gambar 3.15. | Respon Motor dengan Nilai $T_D = 0,75$ .....  | 28 |
| Gambar 3.16. | Percobaan dengan Menaikkan Nilai $K_P$ 5 Kali dan $T_I$<br>10 Kali Nilai Awal.....                | 28 |
| Gambar 3.17. | Percobaan dengan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$ Sebanyak<br>5 Kali Nilai Awal.....               | 29 |
| Gambar 3.18. | Percobaan dengan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$ Sebanyak<br>10 Kali Nilai Awal.....              | 29 |
| Gambar 3.19. | Percobaan Tanpa Beban dengan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$<br>Sebanyak 15 Kali Nilai Awal ..... | 29 |
| Gambar 3.20. | Percobaan dengan Beban dan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$<br>Sebanyak 15 Kali Nilai Awal .....   | 30 |
| Gambar 3.21. | Percobaan Tanpa Beban dengan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$<br>Sebanyak 20 Kali Nilai Awal ..... | 31 |
| Gambar 3.22. | Percobaan Dengan Beban dan Menaikkan Nilai $K_P$ dan $T_I$<br>Sebanyak 20 Kali Nilai Awal .....   | 31 |
| Gambar 4.1.  | Pengujian Parameter PID pada Jalan Datar .....  | 34 |
| Gambar 4.2.  | Pengujian Parameter PID pada Jalan Tanjakan .....   | 35 |
| Gambar 4.3.  | Pengujian Parameter PID pada Jalan Menurun .....  | 37 |
| Gambar 4.4.  | Hasil Pengukuran Instrumentasi <i>Bioimpedance</i> .....  | 39 |
| Gambar 4.5.  | Skema Pengujian .....   | 41 |
| Gambar 4.6.  | Grafik Setpoin dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian<br>pada Jalan Datar .....                  | 41 |
| Gambar 4.7.  | Perintah Kontrol saat Pengujian pada Jalan Datar.....   | 41 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.8. RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap <i>Set Point</i> saat Pengujian pada Jalan Datar .....     | 42 |
| Gambar 4.9. Perintah Kontrol .....  | 42 |
| Gambar 4.10. Foto Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda.....  | 44 |
| Gambar 4.11. Foto Lebar Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda .....   | 44 |
| Gambar 4.12. Skema Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda.....   | 44 |
| Gambar 4.13. Grafik Setpoin dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian pada Jalan Menanjak .....             | 45 |
| Gambar 4.14. Perintah Kontrol saat Pengujian pada Jalan Menanjak .....                                    | 45 |
| Gambar 4.15. RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap <i>Set Point</i> saat Pengujian pada Jalan Menanjak ..... | 45 |
| Gambar 4.16. Perintah Kontrol saat Pengujian Pada Jalan Menurun .....                                     | 46 |
| Gambar 4.17. Grafik Setpoin dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian pada Jalan Menurun .....              | 47 |
| Gambar 4.18. RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap <i>Set Point</i> saat Pengujian pada Jalan Menurun.....   | 47 |

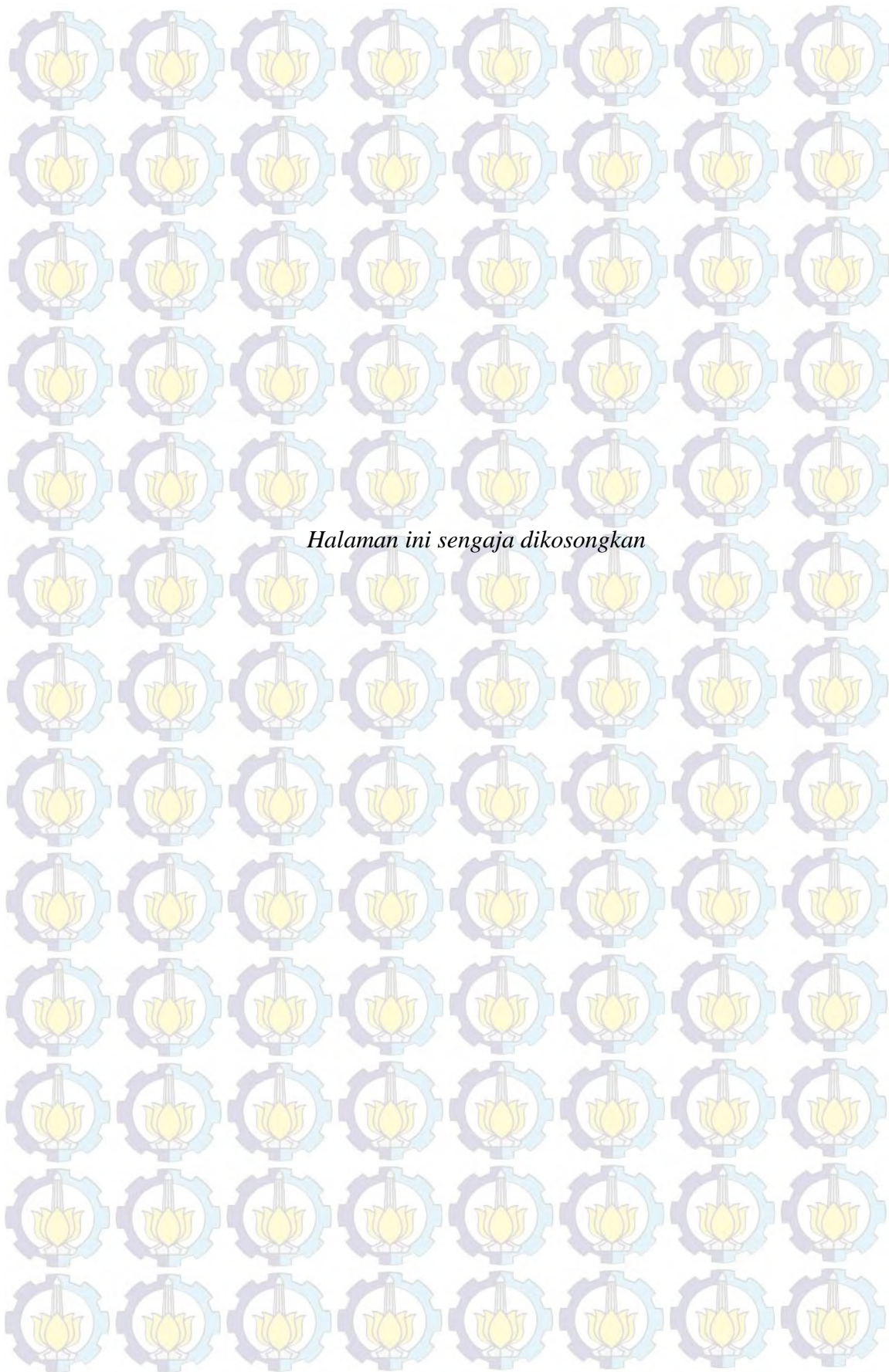






## DAFTAR TABEL

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1. | Pengujian Keseluruhan Alat oleh Ermando.....              | 13 |
| Tabel 2.2. | Pengujian Pengaturan Kecepatan Kursi Roda oleh Sardi..... | 13 |
| Tabel 3.1. | Perintah Kontrol Kecepatan Kursi Roda Elektrik .....      | 22 |
| Tabel 3.2. | Fungsi Pin pada Kursi Roda Elektrik .....                 | 23 |
| Tabel 3.3. | Perbandingan Hasil Respon Motor .....                     | 32 |
| Tabel 4.1. | Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Datar .....      | 33 |
| Tabel 4.2. | Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Tanjakan .....   | 36 |
| Tabel 4.3. | Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Menurun .....    | 36 |
| Tabel 4.4. | Hasil Pengujian Dasar Terhadap Lima Subjek.....           | 40 |
| Tabel 4.5. | Hasil Pengujian pada Jalan Datar .....                    | 42 |
| Tabel 4.6. | Hasil Pengujian pada Jalan Menanjak .....                 | 46 |
| Tabel 4.7. | Hasil Pengujian pada Jalan Menurun.....                   | 47 |





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sistem saraf adalah salah satu sistem vital dalam tubuh manusia, Sistem saraf mempunyai tiga fungsi utama, yaitu menerima informasi dalam bentuk rangsangan atau stimulus, memproses informasi yang diterima, serta memberi tanggapan (respon) terhadap rangsangan. Penyakit yang sering timbul akibat adanya gangguan pada sistem syaraf adalah penyakit kelumpuhan. Kelumpuhan disebabkan oleh kerusakan pada sistem saraf, terutama sumsum tulang belakang. Penyebab utama adalah stroke, trauma dengan cedera saraf, poliomyelitis, amyotrophic lateral sclerosis, botulisme, spina bifida, multiple sclerosis, dan sindrom Guillain-Barré ([www.news-medical.net](http://www.news-medical.net)).

Kelumpuhan atau paralisis adalah hilangnya fungsi otot untuk satu atau banyak otot. Kelumpuhan dapat menyebabkan hilangnya perasa atau hilangnya mobilitas di wilayah yang terpengaruh. kelumpuhan pada manusia dapat dibedakan dalam beberapa jenis, salah satunya adalah kelumpuhan pada alat gerak. Kelumpuhan atau tidak berfungsinya alat alat gerak akan mengganggu mobilitas manusia, dimana penderita tidak berfungsinya alat gerak akan kesulitan untuk berakifitas.

Bagi seseorang yang mengalami cacat pada bagian kaki, maka diperlukan suatu alat yang dapat membantu mobilitas sehari - hari. Alat bantu yang sering digunakan adalah kursi roda, kursi roda yang umum digunakan adalah kursi roda konvensional, dimana kursi roda harus didorong atau diputar pada rodanya agar kursi roda dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan, sedangkan bagi seseorang yang menderita disfungsi alat gerak bagian atas dan bagian bawah (*upper limb dan lower limb*) akan mengalami kesulitan untuk menggunakan kursi roda konvensional. Dengan adanya keterbatasan pada kursi roda konvensional, dibutuhkan solusi yang tepat untuk membantu mobilitas pada penderita disfungsi alat gerak bagian atas dan bawah.



Solusi yang sesuai untuk orang yang menderita kelumpuhan adalah dengan kursi roda elektrik. Kursi roda elektrik dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu yang pertama adalah kursi roda elektrik untuk orang yang masih mempunyai tangan yang kuat untuk menggerakkan kursi roda, untuk kursi roda elektrik jenis yang pertama pada umumnya ditanamkan sebuah kontrol yang dapat membantu meringankan beban untuk mendorong kursi roda saat melintasi jalan menanjak atau menurun lebih dikenal dengan istilah *power asisted*, yang kedua adalah kursi roda untuk orang yang mempunyai tangan tetapi fungsi dari tangan tersebut kurang berfungsi dengan baik, untuk kursi roda jenis kedua pada umumnya menggunakan alat bantu seperti *joy stick* untuk memberikan perintah gerak pada kontroler dan jenis kursi roda yang terakhir adalah jenis kursi roda yang dikhususkan untuk orang yang tangan dan kakinya tidak dapat berfungsi. Kursi roda jenis ketiga tersebut adalah kursi roda elektrik yang sesuai untuk orang dengan keterbatasan gerak pada tangan dan kaki.

Alternatif yang dapat digunakan untuk membantu mobilitas pada penderita disfungsi alat gerak yaitu kursi roda elektrik jenis ketiga, dimana pergerakan kursi roda memanfaatkan sinyal keluaran yang dihasilkan dari sensor yang terdapat pada pengguna kursi roda elektrik, baik sensor kontak (sensor yang berhubungan langsung dengan tubuh manusia) maupun non kontak (sensor yang tidak bersentuhan langsung dengan tubuh manusia). Sinyal keluaran dari sensor tersebut akan mengendalikan arah gerak pada kursi roda elektrik, seperti bergerak maju, belok kanan dan belok kiri. Beberapa waktu lalu telah dilakukan penelitian terkait sinyal keluaran dari sensor kontak yaitu sinyal *bioimpedance* pada tubuh manusia sebagai perintah kontrol gerak kursi roda. Beberapa pencapaiannya adalah sinyal *bioimpedance* digunakan sebagai perintah untuk pergerakan maju, belok kanan dan belok kiri pada kursi roda elektrik, dimana ketika ingin bergerak maju maka kedua bahu harus selalu diangkat, sedangkan untuk berbelok kekanan atau ke kiri, maka pengguna kursi roda hanya perlu mengangkat salah satu bahu saja sesuai dengan arah yang diinginkan (Ermado, 2012). Selain itu juga terdapat pencapaian, dimana kursi roda elektrik dapat bergerak maju dengan tiga kategori kecepatan yaitu kecepatan lambat, sedang dan cepat, masing-masing dengan kecepatan 30cm/detik, 40 cm/detik dan 50 cm/detik. Untuk memberikan perintah kecepatan



digunakan sebuah metoda thresholding, ketika terdeteksi satu kali threshold pada kedua bahu maka di anggap perintah untuk kecepatan lambat, ketika terdeteksi dua kali threshold pada kedua bahu maka di anggap perintah untuk kecepatan sedang dan ketika terdeteksi tiga kali threshold pada kedua bahu maka di anggap perintah untuk kecepatan cepat (Sardi, 2013). Akan tetapi penelitian yang telah dilakukan oleh Sardi hanya berfokus pada jalan datar, sehingga pada penelitian ini akan melanjutkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Sardi pada tahun 2014. Penelitian ini difokuskan pada pengaturan kecepatan kursi roda pada jalan menanjak dan menurun, dimana terdapat tiga variabel kecepatan yang dapat dipilih oleh pengguna kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun. Variabel kecepatan tersebut adalah kecepatan1, kecepatan 2 dan kecepatan 3, masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan sistem pengaturan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun berbasis *Subject intention variable speed*. Artinya pengaturan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun dapat disesuaikan dengan keinginan pengguna kursi roda, dimana terdapat tiga tingkat kecepatan yaitu kecepatan1, kecepatan 2 dan kecepatan 3, masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit. Subjek atau pengguna kursi roda dapat memilih salah satu dari ketiga variabel atau tingkat kecepatan yang telah disediakan dan dapat menggantinya sewaktu-waktu ketika pengguna kursi roda ingin menambah atau mengurangi kecepatannya. Sedangkan cara untuk mempertahankan kecepatan yang diinginkan pengguna kursi roda adalah dengan memanfaatkan putaran dari motor yang terhubung dengan kedua roda pada kursi roda, dimana ketika jalan menanjak maka untuk mempertahankan kecepatannya motor diputar maju atau searah dengan putaran roda dengan PWM yang disesuaikan untuk mencapai *setting point* yang diinginkan oleh subjek, sedangkan pada saat jalan menurun maka motor diputar kebelakang atau berkebalikan dengan arah putaran roda, sehingga akan memberikan efek menahan kecepatan kursi roda saat jalan



menurun, PWM untuk putaran motor saat jalan menurun juga disesuaikan untuk mencapai setting point yang diinginkan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari penjabaran pada latar belakang, dapat ditarik permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaturan perintah gerak kursi roda elektrik untuk jalan menanjak dan menurun?
2. Bagaimana kestabilan kecepatan gerak kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun?

## **1.3. Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat sebuah mekanisme perintah gerak kursi roda elektrik untuk jalan menanjak dan menurun,
2. Menerapkan metode pengendalian kecepatan kursi roda elektrik untuk menjaga kestabilan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun.

Manfaat dari penelitian ini adalah terciptanya sebuah mekanisme gerak kursi roda dan kontrol kursi roda yang dapat memberikan rasa aman bagi pengguna kursi roda saat melintasi jalan menanjak maupun jalan menurun

## **1.4. Batasan Masalah**

Pada penelitian ini terbatasi beberapa batasan, diantaranya yaitu:

1. Sudut pengujian adalah maksimal  $30^{\circ}$ .
2. Jalan menanjak atau menurun adalah jalan yang tidak gelombang.

## **1.5. Keluaran yang diharapkan**

Keluaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan sebuah metode yang sesuai untuk kursi roda elektrik yang dapat membantu mobilitas penderita disfungsi alat gerak bagian atas dan bawah saat melintasi jalan menanjak dan menurun, sehingga pengguna kursi roda elektrik tidak perlu merasa takut atau khawatir saat melintasi jalan menanjak atau menurun.



## BAB 2

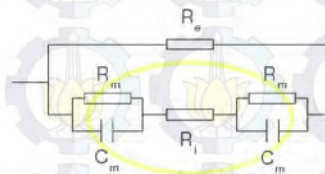
### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. *Bioimpedance* dan Pengukurannya

*Bioimpedance* adalah bagian elektrik pasif yang terdapat pada jaringan tubuh. Jaringan tubuh manusia tersusun dari banyak sel, sel dalam tubuh manusia dapat dibagi menjadi dua yaitu intraseluler (air dan potasium) dan ekstraseluler (air dan sodium), di dalam sel-sel manusia terdapat unsur air yang berfungsi sebagai konduktor didalam tubuh. Berdasarkan sifat konduktansinya, air dapat dimanfaatkan untuk mengukur besarnya impedansi pada tubuh manusia. Menurut Javier Gracia Tabuenca pada tahun 2009 menyatakan bahwa *Bioimpedance* mengacu pada perlawanan dari aliran arus yang melalui jaringan tubuh tersebut.

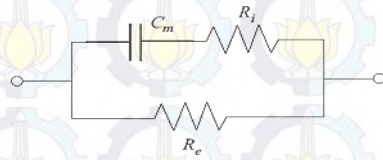
Membran sel terdiri dari sebuah lapisan yang tidak konduktif yaitu material *lipophilic* yang terletak diantara dua lapisan molekul kondiktif, susunan tersebut seperti kapasitor yang menyimpan muatan listrik arus bolak balik. Menurut Webster pada 1998 menyatakan bahwa Jalur ekstraseluler diwakili oleh sebuah resistor sedangkan jalur intraseluler (air, ion potassium, dan membran sel) diwakili oleh sebuah resistor dan kapasitor. Model pendekatan rangkaian elektronika dari satu sel ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Jaringan tubuh manusia terdiri dari banyak sel yang berbeda-beda, meskipun demikian sel-sel yang tersusun dalam jaringan tubuh manusia memiliki struktur yang tetap. Menurut Grimes dkk pada tahun 2000 mengemukakan bahwa sifat mikroskopik dari jaringan tubuh manusia dapat disederhanakan menggunakan model impedansi makroskopik yang mencerminkan resistansi eksternal dan internal, dan kapasitansi membran, model pendekatan elektronika dari jaringan tubuh manusia ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Model Pendekatan Rangkaian Elektronika dari Satu Sel  
(Webster, 1998)





Gambar 2.2 Model Pendekatan Elektronika dari Jaringan Tubuh

(Grimes dkk, 2000)

Keterangan

$R_i$  : Resistansi intraseluler.

$C_m$  : Reaktansi intraseluler.

$R_e$  : Resistansi ekstraseluler.

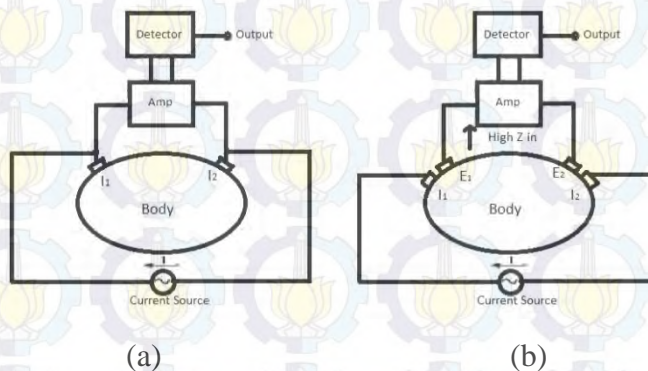
Pengukuran *Bioimpedance* pada tubuh manusia dapat dilakukan dengan dua metoda yaitu metode dua elektroda dan empat elektroda. seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode dengan menggunakan dua elektroda dimana elektroda pertama dan kedua digunakan untuk memberikan arus dan elektroda yang ketiga digunakan untuk refrensi mengukur tegangan keluaran dari *bioimpedance*, sedangkan untuk penempatan eletroda ditunjukkan pada Gambar 2.4. Besar *bioimpedance* dapat diketahui menggunakan hukum Ohm, seperti pada Persamaan (2.1),

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

dimana

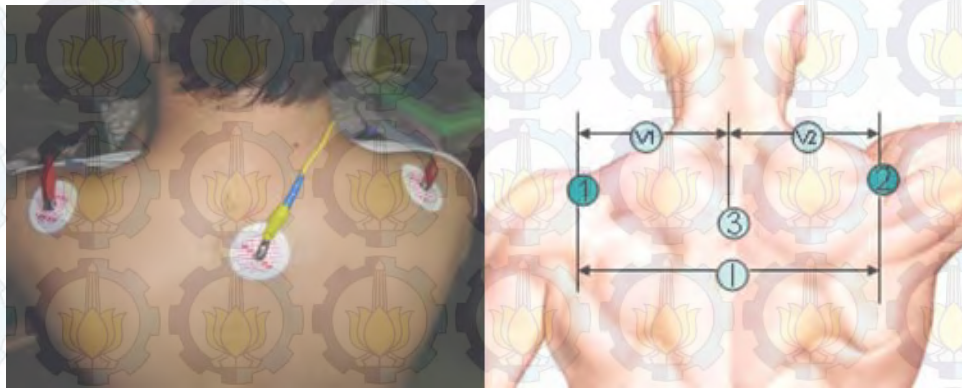
$V$ = tegangan yang terukur.

$I$  = arus yang distimulasikan.

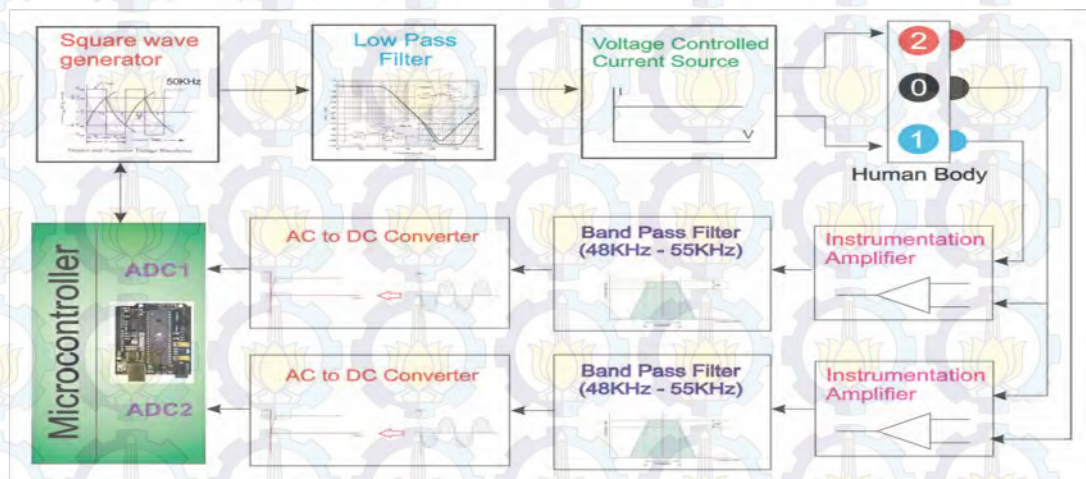


Gambar 2.3 Dua Metode Pemasangan Elektroda Pengukuran *Bioimpedance* (a) Sistem Dua Elektroda (b) Sistem Empat Elektroda (Tabuenca, 2009)





Gambar 2.4 Penempatan Elektroda pada Tubuh (Yunfei,2009)



Gambar 2.5 Diagram Blok Sistem Instrumentasi *Bioimpedance* (Sardi, 2013)

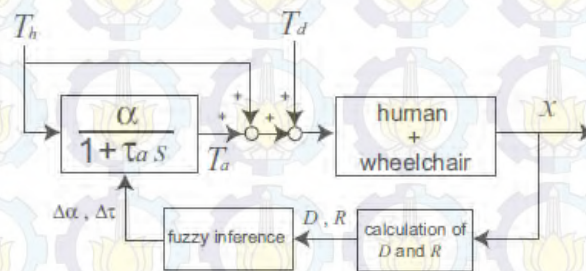
Sinyal *bioimpedance* diukur dengan menggunakan 2 bagian rangkaian yang terintegrasi, yaitu rangkaian stimulasi dan rangkaian instrumentasi. Rangkaian stimulasi merupakan rangkaian pembangkit sumber arus bolak-balik dengan frekuensi 50 kHz dan amplitudo maksimum sebesar  $0,5 \text{ mA}_{\text{rms}}$ . Sumber arus ini kemudian diinjeksikan ke tubuh melalui sebuah elektroda. Bagian yang lainnya yaitu rangkaian instrumentasi. Rangkaian ini digunakan untuk mengukur beda potensial pada tubuh yang distimulasi. Besar tegangan yang terukur tersebut mewakili besarnya *bioimpedance*. Sistem ini dinamakan dengan sistem instrumentasi *bioimpedance*. Diagram blok dari sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.5.



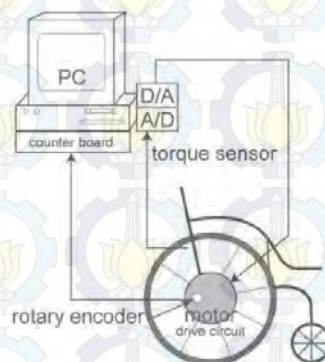
## 2.2. Kursi Roda dengan *Power Asisted*

Kursi roda adalah alat bantu yang digunakan oleh orang yang mengalami kesulitan berjalan menggunakan kaki, baik dikarenakan oleh penyakit, cidera, maupun cacat. Alat ini dapat digerakan dengan didorong oleh pihak lain, digerakan dengan menggunakan tangan atau dengan menggunakan mesin otomatis. Pemakaian pertama kursi roda di Inggris tercatat pada tahun 1670-an. Kursi roda listrik merupakan kursi roda yang digerakkan dengan motor listrik biasanya digunakan untuk perjalanan jauh bagi penderita cacat atau bagi penderita cacat ganda.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Seki dan Kiso pada tahun 2011, menghasilkan kursi roda yang di dasarkan pada *power asisted* untuk membantu orang tua, dimana kursi roda tersebut terdapat sistem yang akan membantu ketika melintasi jalan menanjak dan jalan dengan gangguan, sehingga tidak membebani orang yang menggunakan kursi roda tersebut. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok yang digunakan dalam penelitiannya dan Gambar 2.7 merupakan konfigurasi kursi roda.



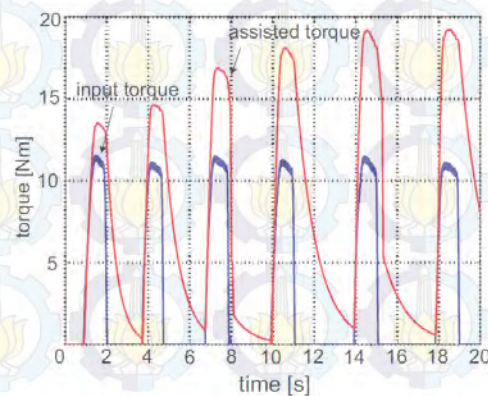
Gambar 2.6 Diagram Blok Kursi Roda dengan *Power Asisted*  
(Seki dan Kiso, 2011)



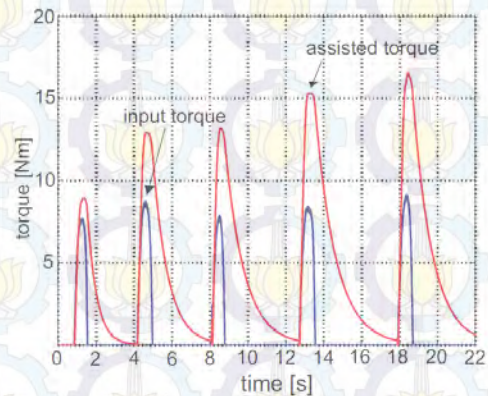
Gambar 2.7 Konfigurasi Kursi Roda (Seki dan Kiso, 2011)



Pengujian dilakukan sebanyak dua kali yaitu pengujian dengan jalan menanjak dan pengujian pada jalan yang kasar, pada pengujian perama dilakukan pengujian untuk jalan menanjak dengan kemiringan  $4^{\circ}$  kursi roda dengan *power assisted* secara bertahap dapat membantu pengguna kursi roda melintasi jalan tersebut, hasil pengujian pertama ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan pengujian yang kedua dilakukan pada jalan datar dengan kontur jalan yang kasa, dimana jalan kasar tersebut dicontohkan dengan rumput buatan. Hasil pengujian yang kedua dapat dilihat pada Gambar 2.9, dimana pada waktu pengujian, torsi yang digunakan untuk membantu pengguna kursi roda dapat secara bertahap meningkat setelah dua kali dorongan dan kecepatan yang di inginkan oleh pengguna kursi roda dapat tercapai. Sedangkan efisiensi pengendalian kursi roda ditunjukkan pada Gambar 2.10.

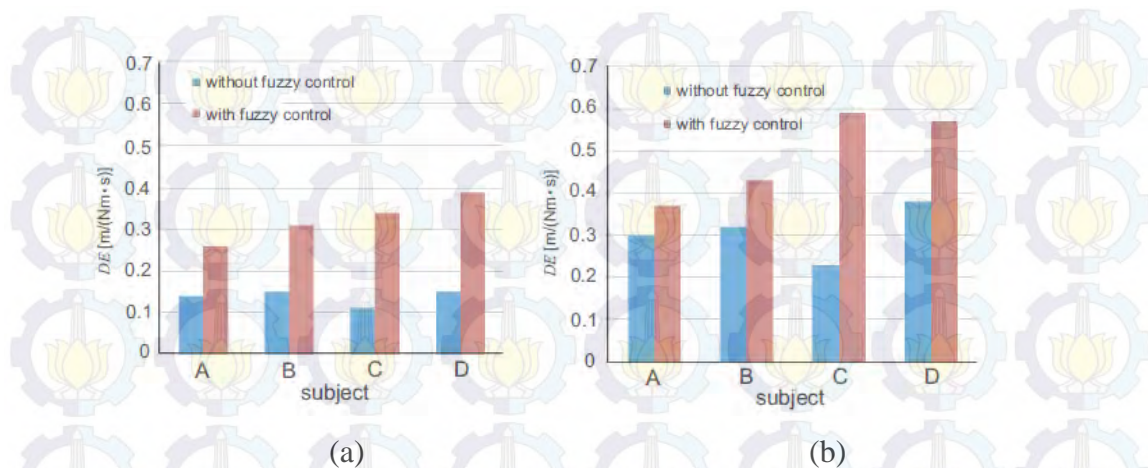


Gambar 2.8 Pengujian Kursi Roda pada Jalan dengan Kemiringan 4 Derajat (Seki dan Kiso, 2011)



Gambar 2.9 Pengujian Kursi Roda pada Jalan Kasar (Seki dan Kiso, 2011)

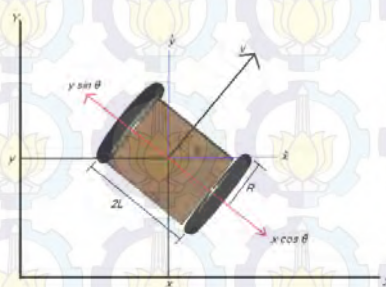




Gambar 2.10 Grafik Efisiensi (a) Pengujian Jalan Menanjak (b) Pengujian Jalan Kasar (Seki dan Kiso, 2011)

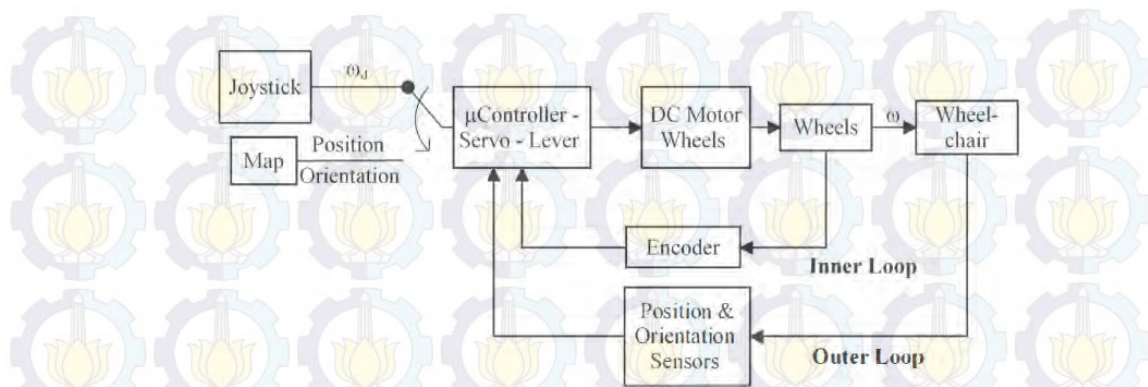
### 2.3. Kursi Roda dengan Joystick

Augie Widyotriatno dkk pada tahun 2012 menghasilkan sebuah kursi roda elektrik yang mampu berjalan di jalan miring seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, dimana kursi roda dalam penelitian yang dilakukan oleh Augie Widyotriatno dapat melaju dengan kecepatan 40 dan 60 rpm. Selain itu kursi roda dalam penelitian ini dapat berkerja secara manual maupun otomatis, dimana ketika mode manual maka masukan perintah kontrol berasal dari joystick dan ketika mode otomatis maka masukan kontrol berasal dari map (sensor posisi dan orientasi) dan diagram blok kontrol kursi roda ditunjukkan pada Gambar 2.12. Kontrol yang tertanam dalam sistem kursi roda tersebut adalah kontrol PID dengan metoda tuning untuk konstanta PID menggunakan metoda *open loop* Zieger-Nichols. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan efektivitas kontrol PID yang digunakan untuk kursi roda yang mampu berjalan di jalan yang miring seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.13.

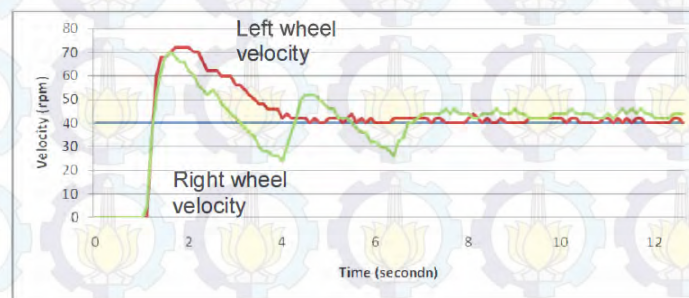


Gambar 2.11 Model Kursi Roda (Widyotriatno, 2012)

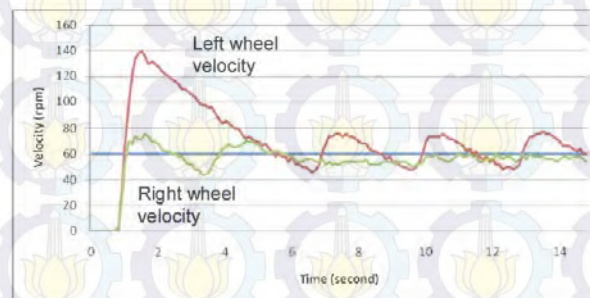




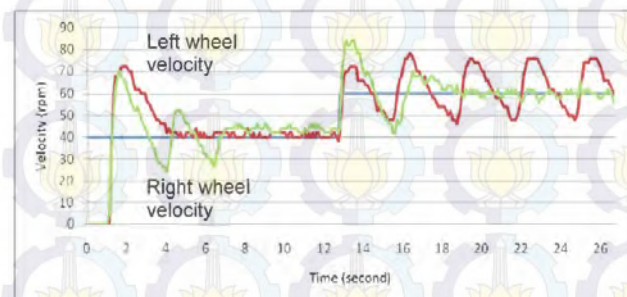
Gambar 2.12 Diagram Blok Kontrol Kursi Roda (Widyotriatno, 2012)



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.13 Grafik Pengujian (a) *Set Point* 40 Rpm (b) *Set Point* 60 Rpm (c) *Set Point* 40 Rpm Lalu Diganti 60 Rpm (Widyotriatno, 2012).



#### 2.4. Kursi Roda dengan *Bioimpedance*

Rico Ermando pada tahun 2012, telah merancang mekanik kursi roda dibuat sesuai dengan ukuran sebenarnya. Pada kursi roda elektrik terdapat dua motor DC yang berfungsi untuk penggerak, kedua motor DC tersebut dikopel ke roda belakang dengan menggunakan rantai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Sedangkan diagram blok yang digunakan seperti pada Gambar 2.15.

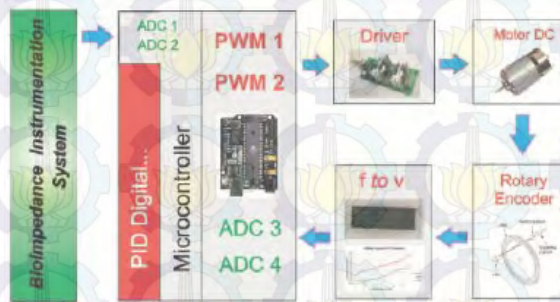
Hasil yang di dapat dari pengujian, kursi roda dapat bergerak maju, belok kanan dan belok kiri dengan baik. Gambar 2.16 menunjukkan grafik hasil pengujian, dimana grafik warna merah merupakan masukan untuk PID dan grafik warna biru merupakan respon kecepatan motor terhadap masukan yang diberikan dan Tabel 2.1 menunjukkan hasil pengujian keseluruhan.

Pada tahun 2013, Juli Sari mengembangkan penelitian yang telah dilakukan, dimana kursi roda yang telah dihasilkan dapat berjalan maju dengan tiga variabel kecepatan yang dapat dipilih sesuai keinginan pengguna kursi roda. Variabel kecepatan tersebut yaitu kecepatan lambat dengan kecepatan yang telah di tentukan sebesar 30 cm/s, kecepatan sedang dengan kecepatan yang telah di tentukan sebesar 40 cm/s dan kecepatan cepat dengan kecepatan yang telah di tentukan sebesar 50 cm/s. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.2. Pada pengujiannya dilakukan dengan dua orang dan tanpa beban dimana masing-masing dilakukan lima kali percobaan. Pada setiap kali percobaan, subjek diperintahkan untuk menguji masing-masing variabel kecepatan.

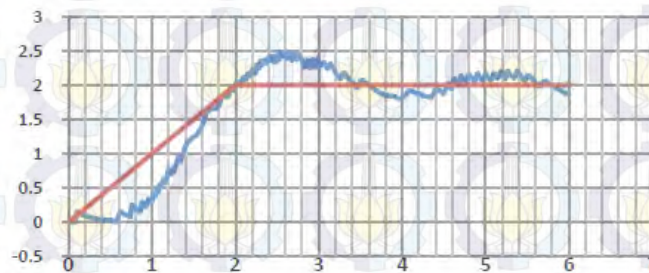


Gambar 2.14 Kursi Roda (Ermado, 2012)





Gambra 2.15 Diagram Blok Keseluruhan Sistem (Ermado, 2012)



Gambar 2.16 Grafik Kecepatan Motor Setelah *Motion Planning* (Ermado, 2012)

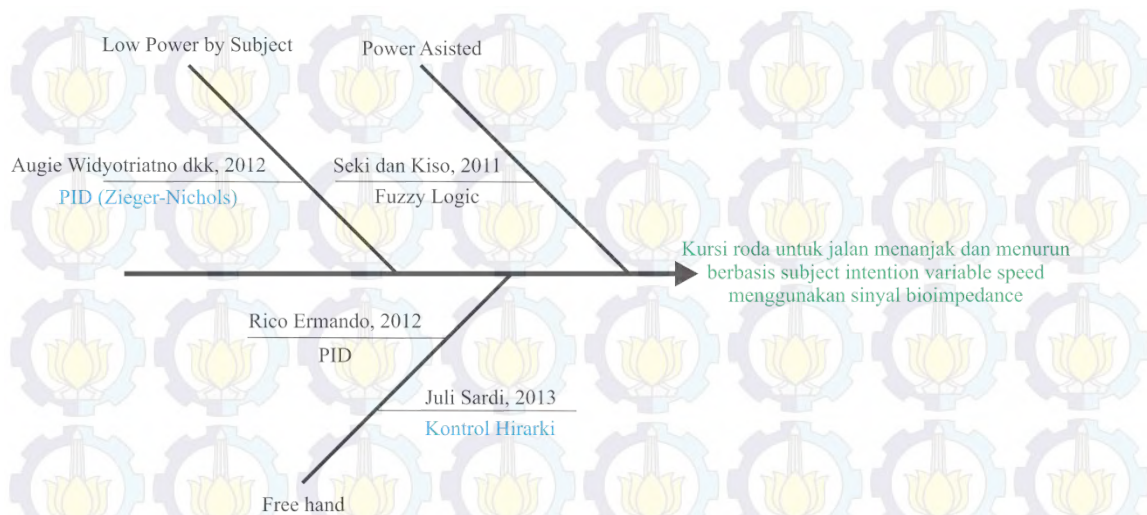
Tabel 2.1 Pengujian Keseluruhan Alat (Ermado, 2012)

| Percobaan ke | Keterangan | Percobaan ke | Keterangan |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 1            | Sukses     | 11           | Sukses     |
| 2            | Sukses     | 12           | Gagal      |
| 3            | Gagal      | 13           | Sukses     |
| 4            | Sukses     | 14           | Sukses     |
| 5            | Sukses     | 15           | Sukses     |
| 6            | Gagal      | 16           | Sukses     |
| 7            | Sukses     | 17           | Sukses     |
| 8            | Sukses     | 18           | Gagal      |
| 9            | Sukses     | 19           | Sukses     |
| 10           | Sukses     | 20           | Sukses     |

Tabel2.2 Pengujian Pengaturan Kecepatan Kursi Roda (Sardi, 2013)

| Percobaan Ke             | Tanpa beban | Subjek 1 | Subjek 2 |
|--------------------------|-------------|----------|----------|
| 1                        | Sukses      | Sukses   | Sukses   |
| 2                        | Sukses      | Sukses   | Sukses   |
| 3                        | Sukses      | Gagal    | Sukses   |
| 4                        | Sukses      | Sukses   | Sukses   |
| 5                        | Sukses      | Sukses   | Gagal    |
| Keberhasilan             | 100 %       | 80 %     | 80 %     |
| Keberhasilan Keseluruhan | 86.7 %      |          |          |





Gambar 2.17 *Fishbone Diagram*

## 2.5. *Fishbone Diagram*

Berdasarkan refrensi pada penelitian ini, maka dibuat *fishbone diagram* seperti pada Gambar 2.17. *Fishbone diagram* menggambarkan rancangan penelitian yang akan dilakukan, dimana tulisan yang berwarna biru merupakan metoda yang akan digunakan pada penelitian ini dan tulisan yang berwarna hijau merupakan tujuan dari penelitian yang akan dikerjakan.

## 2.6. Ziegler Nichols untuk *Tunning* Parameter PID

Ziegler Nichols adalah metode *tunning* PID yang pertama kali diperkenalkan oleh John G. Ziegler dan Nathaniel B. Nichols. Pemilihan metode *tunning* secara eksperimental didasarkan pada kurangnya data berkaitan dengan plan (kursi roda elektrik), sehingga metode *tunning* secara eksperimental dianggap pilihan terbaik untuk mencari parameter PID. Parameter PID di dapat dari respon plan ketika diberikan masukan fungsi *step* pada kondisi *open loop*, respon plan akan menjadi acuan untuk perhitungan parameter-parameter PID, Gambar 2.19 menunjukkan respon plan saat diberikan masukan fungsi *step*. Cara pemberian masukan berupa fungsi *step* ditunjukkan seperti Gambar 2.18. plan akan diberi masukan berupa tegangan maksimal untuk menjalankan motor pada kursi roda elektrik, hasil dari pemberian fungsi *step* berupa kurva berbentuk huruf “S”. Berdasarkan repon dari plan didapan nilai K (nilai ketika respon telah *steady state*), L (waktu tunggu) dan T (waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady*



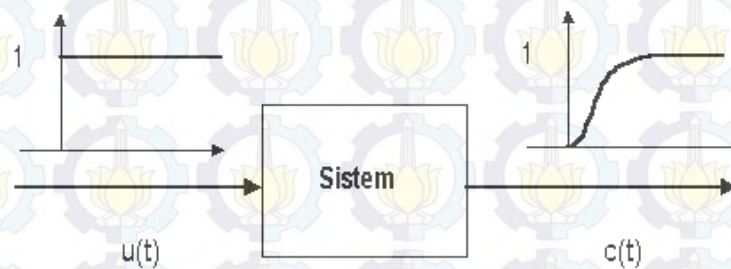
state). Masing-masing nilai dari respon tersebut akan di gunakan untuk menghitung nilai  $K_p$  dengan Persamaan 2.3, nilai  $T_i$  menggunakan Persamaan 2.4, dan nilai  $T_d$  menggunakan Persamaan 2.5.

$$R = \frac{K}{T} \quad (2.2)$$

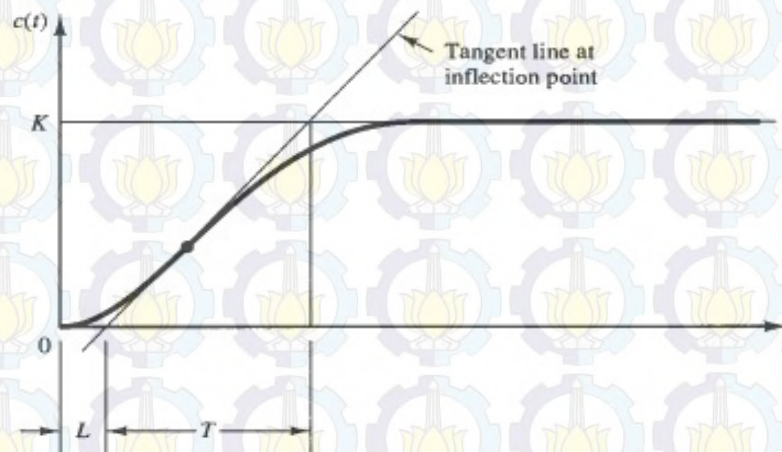
$$K_p = \frac{1,2}{RL} \quad (2.3)$$

$$T_i = 2L \quad (2.4)$$

$$T_d = 0,5L \quad (2.5)$$



Gambar 2.18 Reaksi Sistem Open Loop Ketika Diberi Masukan Fungsi Step.



Gambar 2.19 Kurva Reaksi.







## BAB 3

### METODA PENELITIAN

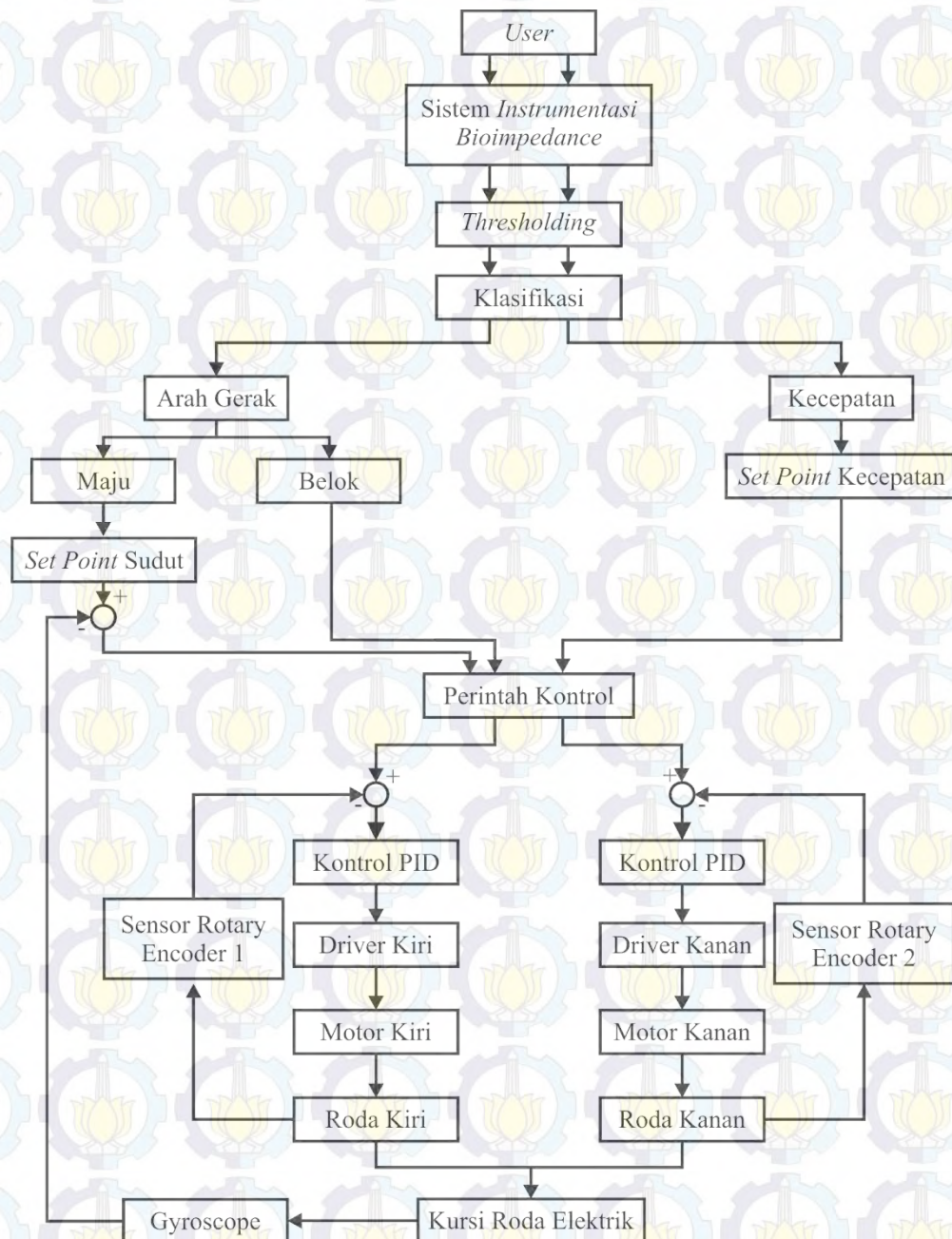
Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem pengaturan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun berbasis *Subject intention variable speed*. Artinya pengaturan kecepatan kursi roda saat melintasi jalan menanjak dan menurun dapat disesuaikan dengan keinginan pengguna kursi roda, dimana terdapat tiga tingkat kecepatan yaitu kecepatan1, kecepatan 2 dan kecepatan 3, masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit. Subjek atau pengguna kursi roda dapat memilih salah satu dari ketiga variabel atau tingkat kecepatan yang telah disediakan dan dapat menggantinya sewaktu-waktu ketika pengguna kursi roda ingin menambah atau mengurangi kecepatannya.

#### 2.1. Mekanisme Gerak Kursi Roda

Desain perintah kontrol didasarkan perubahan impedansi pada otot trapezius. Pengukuran impedansi menggunakan instrumentasi *bioimpedance* dengan 3 elektroda yang masing masing terpasang pada bahu kanan, bahu kiri dan tepat di tengah pada tulang belakang. Impedansi otot trapezius dapat berubah ketika otot trapezius bergerak, nilai impedansi akan semakin besar ketika otot memanjang dan akan semakin kecil ketika otot memendek, Blok diagram keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Secara garis besar pusat kendali terdapat pada *user*, dimana *user* memiliki peran utama untuk mengendalikan arah dan kecepatan kursi roda elektrik. Perintah yang diberikan oleh *user* dilakukan melalui pergerakan bahu, ketika bahu bergerak kedepan maka nilai impedansi otot trapezius akan meningkat sehingga tegangan yang terukur dalam instrumentasi *bioelectrical impedance* akan meningkat, perubahan tersebut akan diterjemahkan sebagai perintah kontrol untuk menjalankan kursi roda elektrik. Untuk menjaga kestabilan kecepatan kursi roda dan menjaga arah gerak kursi roda, maka digunakan sensor rotary encoder dan gyroscope. Rotary encoder berfungsi untuk menjaga kecepatan kursi roda elektrik

agar sesuai dengan *set point* yang di inginkan *user*, sedangkan ketika perintah di berikan untuk kursi roda elektrik bergerak maju, maka sensor gyroscope mendapat peran penting untuk menjaga agar arah kursi roda tetap dalam arah maju. Umpan balik dari sensor rotary encoder dan gyroscope menjadi masukan untuk kontrol PID dalam menjaga kestabilan kecepatan dan arah gerak kursi roda elektrik



Gambar 3.1 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

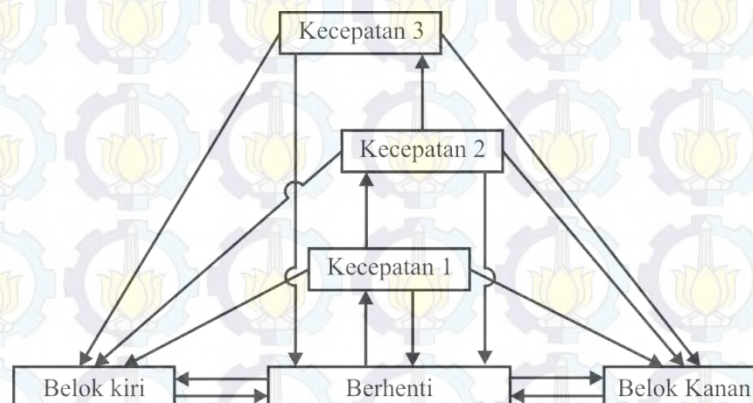


### 2.1.1. *State Diagram Kursi Roda Elektrik*

Kursi roda elektrik dengan *bioelectrical impedance* dirancang dengan perintah-perintah sederhana seperti maju, belok kanan dan belok kiri. Berdasarkan perintah gerak kursi roda maka dibuat sebuah *state diagram* untuk mempermudah *user* untuk menggunakannya, *state diagram* di tunjukkan seperti Gambar 3.2. Dimulai dari keadaan diam, kursi roda dapat digerakkan belok kanan, belok kiri dan maju dengan kecepatan 1, dari keadaan belok kanan maupun belok kiri, kursi roda hanya dapat diberi perintah untuk berhenti, sedangkan pada keadaan bergerak maju, kursi roda dapat meningkatkan kecepatan hingga kecepatan tertinggi dan berbelok ke kanan maupun ke kiri. Selain itu kursi roda juga dapat diberi perintah berhenti pada semua keadaan, akan tetapi kursi roda tidak dapat menurunkan kecepatan secara langsung, melainkan melalui perintah berhenti terlebih dahulu.

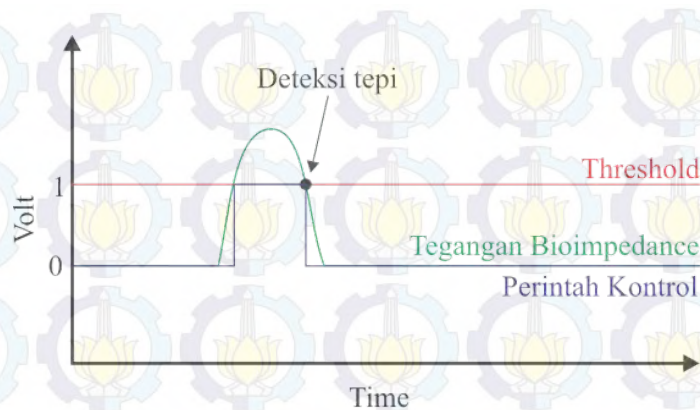
### 2.1.2. *Thresholding*

Perubahan impedansi pada otot trapezius dimanfaatkan sebagai perintah kontrol dengan cara memberikan *threshold* pada keluaran bioimpedance. Ketika nilai tegangan yang terukur lebih besar daripada *threshold* yang ditentukan, maka gerakan otot trapezius diartikan sebagai perintah kontrol, dimana pendeteksian tersebut menggunakan deteksi tepi, seperti pada Gambar 3.3. *Threshold* merupakan cara untuk menerjemahkan perubahan impedansi sebagai perintah kontrol gerak sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler.



Gambar 3.2 *State Diagram* Kontrol Gerak Kursi Roda Elektrik.





Gambar 3.3 Proses Pemberian Perintah Kecepatan

### 2.1.3. Klasifikasi

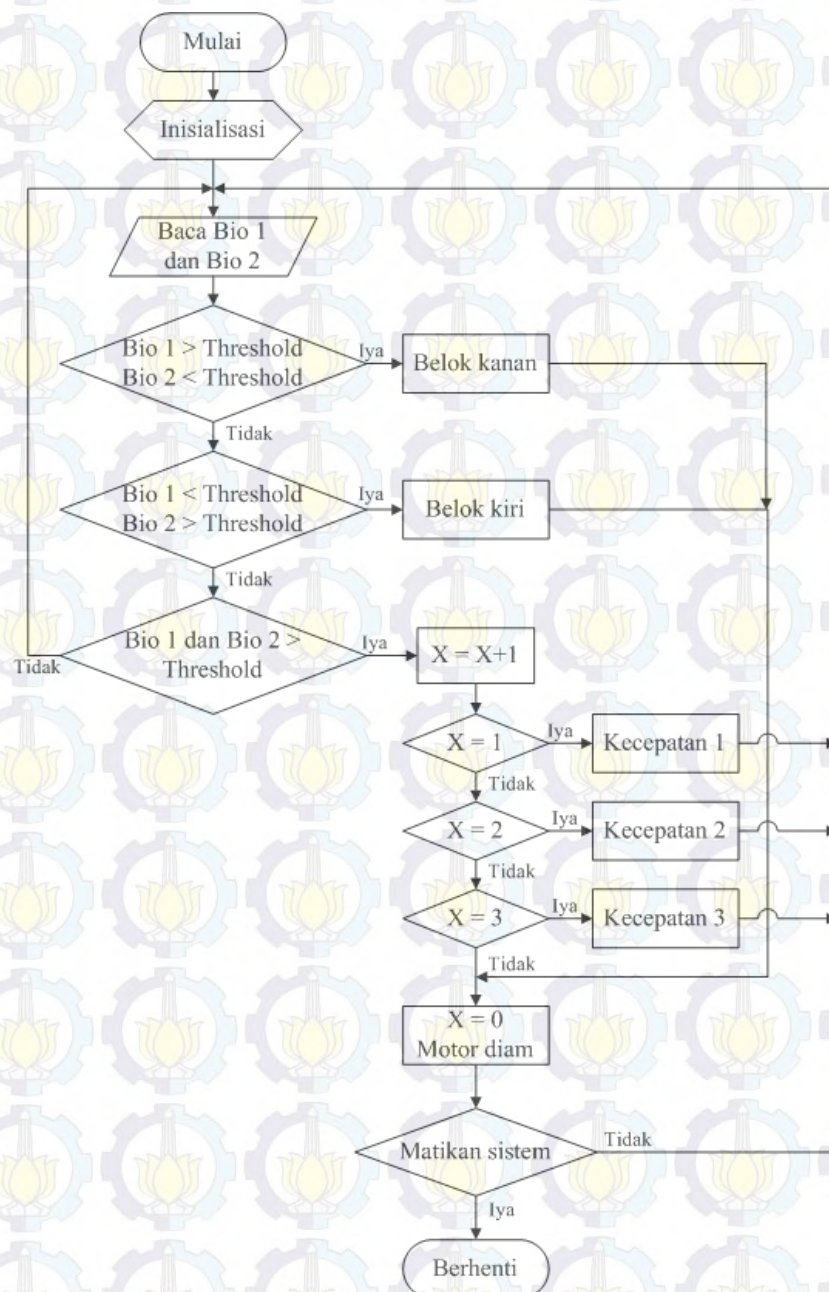
Perangkat lunak sistem kursi roda elektrik di desain sesuai dengan mekanisme gerak yang diusulkan, dimana terdapat *threshold* untuk menterjemahkan perubahan impedansi pada otot trapezius sebagai perintah kontrol dan kursi roda dapat bergerak belok kanan, belok kiri, maju dengan kecepatan 1, kecepatan 2, kecepatan 3 dan berhenti sesuai dengan state diagram yang dibuat pada Gambar 3.2. Berdasarkan desain yang diusulkan, maka dibuatlah diagram alir untuk klasifikasi gerak kursi roda elektrik. Diagram alir tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.4. Klasifikasi yang dilakukan berdasarkan logic perintah kontrol hasil dari proses *thresholding*, dimana terdapat logic 1 ketika keluaran dari bioelectrical impedance lebih dari *threshold* dan bernilai 0 ketika keluaran dari bioelectrical impedance kurang dari *threshold*.

### 2.1.4. Perintah Kontrol

Perintah kontrol didesain dengan sederhana sehingga tidak mempersulit subjek dalam menggerakkan kursi roda elektrik. Klasifikasi perintah kontrol ditunjukkan pada Tabel 3.1. Pada klasifikasi tersebut dijelaskan cara untuk memberi perintah kontrol gerak sehingga kursi roda elektrik dapat digerakkan sesuai dengan keinginan subjek. Berdasarkan klasifikasi perintah kontrol gerak kursi roda elektrik, kursi roda elektrik dapat diperintah untuk bergerak belok kanan, belok kiri dan maju. Terdapat variabel kecepatan sebanyak 3 tingkat pada gerakan maju yaitu kecepatan 1, kecepatan 2 dan kecepatan 3. Masing-masing alur perubahan gerakan dari kursi roda elektrik dapat ditunjukkan seperti Gambar



3.2. dalam blok perintah kontrol terdapat dua masukan yaitu arah dan kecepatan, perintah kontrol bertujuan untuk mengkoordinasikan arah dan kecepatan yang diinginkan *user* dengan aktuator pada tingkat eksekusi. Perintah kontrol akan mengaktifkan pin pada kursi roda elektrik untuk gerakan maju maupun belok dan mengeluarkan *set point* sesuai dengan perintah yang diberikan oleh *user*, fungsi pin pada kursi roda elektrik di tunjukkan seperti Tabel 3.2.



Gambar 3.4 Diagram Alir Klasifikasi Kecepatan Kursi Roda Elektrik

Tabel 3.1 Perintah Kontrol Gerak Kursi Roda Elektrik

| No | Perintah kontrol gerak  | Gerakan Bahu   | Kecepatan (meter permenit) |
|----|-------------------------|--|----------------------------|
| 1  | Belok kanan             | Bahu kiri digerakkan kedepan dan ditahan selama belok kanan  | 8,8                        |
| 2  | Belok kiri              | Bahu kanan digerakkan kedepan dan ditahan selama belok kiri  | 8,8                        |
| 3  | Maju dengan kecepatan 1 | Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali  | 17,6                       |
| 4  | Maju dengan kecepatan 2 | Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 2 kali.<br>Dari kecepatan 1, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali.  | 26,4                       |
| 5  | Maju dengan kecepatan 3 | Dari keadaan diam, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 3 kali.<br>Dari kecepatan 1, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 2 kali.<br>Dari kecepatan 2, bahu kanan dan kiri digerakkan maju bersama-sama secara <i>trigger</i> sebanyak 1 kali. | 35,2                       |
| 6  | Berhenti                | Bahu kanan dan kiri digerakkan maju secara bersama-sama dan ditahan selama 1,5 detik.  | 0                          |

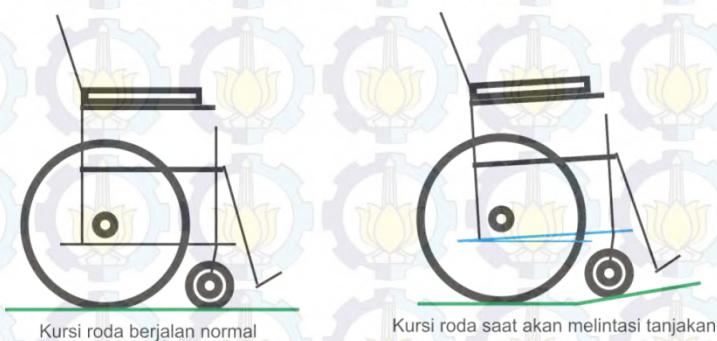


Tabel 3.2 Fungsi Pin pada Kursi Roda Elektrik

| Pin | Fungsi           | Keterangan  |
|-----|------------------|---|
| 1   | Vcc              | Tegangan 5 volt   |
| 2   | Belok roda kiri  | Belok kiri, input 0 – 2,5 volt<br>Belok kanan, input 2,5 – 5 volt |
| 3   | Ground           |   |
| 4   | Maju roda kiri   | Mundur, input 0 – 2,5 volt<br>Maju, input 2,5 – 5 volt            |
| 5   | Maju roda kanan  | Mundur, input 0 – 2,5 volt<br>Maju, input 2,5 – 5 volt            |
| 7   | Belok roda kanan | Belok kiri, input 0 – 2,5 volt<br>Belok kanan, input 2,5 – 5 volt |

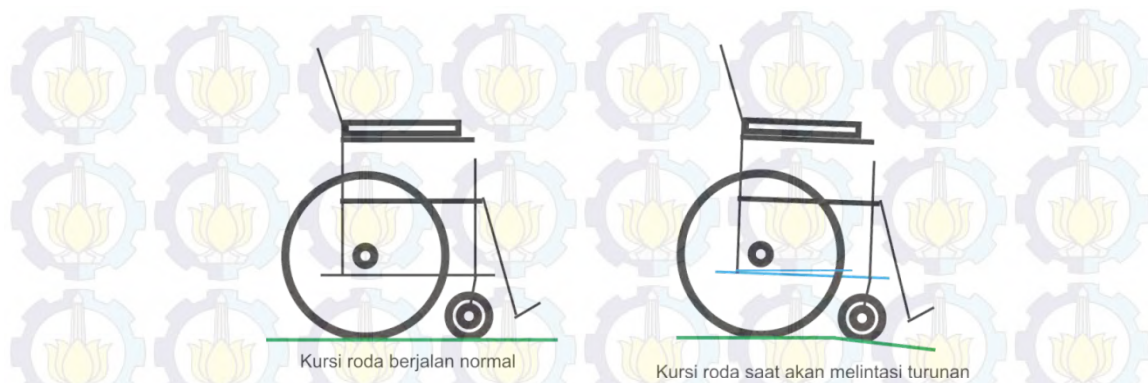
#### 2.1.5. Mekanisme Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun

Mekanisme kursi roda saat melintasi jalan menanjak ditunjukkan pada Gambar 3.5, kursi roda akan berjalan normal pada jalan datar, selanjutnya ketika terdapat menanjak, subjek harus menyesuaikan kecepatan kursi roda elektrik sesuai dengan yang diinginkan subjek, misalkan ketika subjek merasa jalan terlalu terjal, maka subjek dapat memberhentikan kursi roda terlebih dahulu kemudian menjalankan kembali dengan kecepatan 1, akan tetapi ketika sudut kemiringan dianggap masih aman, maka subjek bisa langsung melintasi menanjak tersebut, begitu juga ketika berada pada menanjak seperti Gambar 3.7, dan subjek merasa kecepatan perlu dinaikkan, maka kursi roda elektrik akan merespon perintah kontrol yang diberikan oleh subjek.

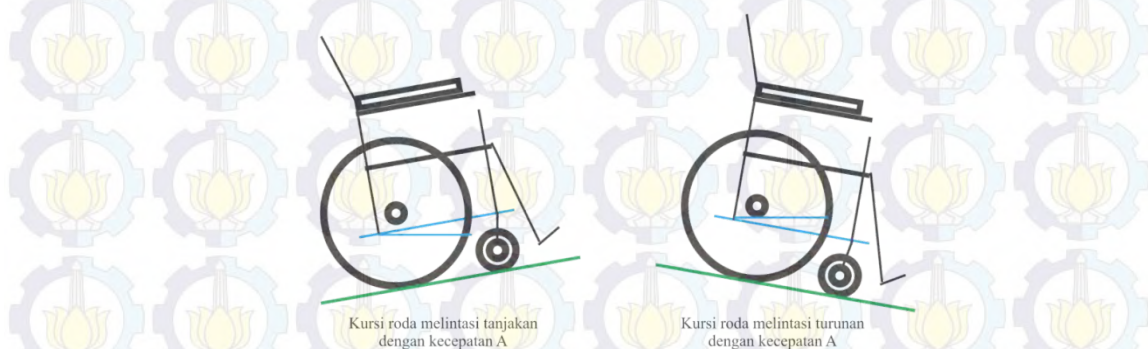


Gambar 3.5 Ilustrasi saat Akan Melintasi Menanjak





Gambar 3.6 Ilustrasi saat Akan Melintasi Jalan Menurun



Gambar 3.7 Ilustrasi Kursi Roda saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun

Mekanisme kursi roda saat melintasi jalan menurun adalah tidak jauh berbeda dengan mekanisme saat melalui jalan menanjak, dimana kursi roda elektrik dapat berjalan stabil pada jalan menurun sesuai dengan perintah kontrol yang diberikan oleh subjek. Seperti pada saat melintasi jalan menanjak, subjek juga dapat meningkatkan kecepatan saat melintasi jalan menurun tanpa harus takut kecepatan kursi roda akan berbeda dengan saat melintasi jalan menanjak. Dalam mekanisme gerak kursi roda, subjek mendapat peran utama untuk menggerakkan kursi roda elektrik sesuai dengan keninginannya dan kursi roda elektrik akan merespon dengan bergerak sesuai dengan perintah kontrol yang diberikan.

## 2.2. Perubahan *Set Point* saat Berhenti.

Perubahan setpoint saat perintah berhenti diberikan bertujuan untuk memberi kenyamanan pada pengemudi. Perubahan setpoint ini akan turun secara perlahan hingga menjadi nol, perubahan setpoint dirancang berhenti perlahan dalam waktu satu detik setelah perintah kontrol berhenti diberikan. Setpoint saat berhenti



ditentukan berdasarkan persamaan garis lurus melalui dua titik, seperti pada Gambar 3.8.

Berdasarkan persamaan garis lurus melalui dua titik, dapat ditulis persamaan untuk mendapatkan gradien atau kemiringan garis seperti pada Persamaan 3.1 dan persamaan garis pada Persamaan 3.2. Dimana  $m$  adalah gradien garis,  $x_1$  dan  $y_1$  adalah titik setpoint sebelum perintah berhenti diberikan, sedangkan  $x_2$  dan  $y_2$  adalah titik dimana kursi roda elektrik berhenti, dengan nilai  $x_2$  adalah 1 dan  $y_2$  adalah 0.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (3.2)$$

Dimana nilai  $y$  adalah setpoint yang digunakan dan  $x$  adalah waktu pada saat setpoint. Sehingga didapat untuk masing-masing gradien untuk kecepatan 1 hingga kecepatan 3 sebagai berikut:

1. Gradien untuk setpoint 20

Dengan titik A(0,20) dan B(1,0)

$$m = \frac{0 - 20}{1 - 0} = -20$$

$$y = -20(x - 0) + 20$$

$$y = -20x + 20$$

2. Gradien untuk setpoint 30

Dengan titik A(0,30) dan B(1,0)

$$m = \frac{0 - 30}{1 - 0} = -30$$

$$y = -30(x - 0) + 30$$

$$y = -30x + 30$$

A (X<sub>1</sub>,Y<sub>1</sub>)

0

B (X<sub>2</sub>,Y<sub>2</sub>)

Gambar 3.8 Persamaan Garis Melalui Dua Titik

### 3. Gradien untuk setpoint 40

Dengan titik A(0,40) dan B(1,0)

$$m = \frac{0 - 40}{1 - 0} = -40$$

$$y = -40(x - 0) + 40$$

$$y = -40x + 40$$

### 2.3. Tuning Parameter PID

Perhitungan parameter didasarkan pada hasil ekperimental secara open loop pada plan, dari respon keluaran yang di dapat dari plan maka diperoleh nilai K, L dan T, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.9. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, didapat perhitungan PID seperti dibawah ini dan hasil penerapan parameter PID tersebut ditunjukkan seperti Gambar 3.10.

$$R = \frac{K}{T} = \frac{45}{0,68} = 66,54$$

$$K_P = \frac{1,2}{RL} = \frac{1,2}{66,54 \times 0,15} = 0,12$$

$$T_I = 2L = 2 \times 0,15 = 0,3$$

$$T_D = 0,5L = 0,5 \times 0,15 = 0,075$$

Selanjutnya dilakukan tuning manual, yaitu menaikkan nilai  $K_P$ ,  $T_I$  maupun  $T_D$  dengan tujuan untuk memperbaiki respon plan terhadap setpoint yang diberikan, tahap pertama adalah menaikkan masing masing nilai tersebut untuk mengetahui respon terhadap kecepatan kursi roda

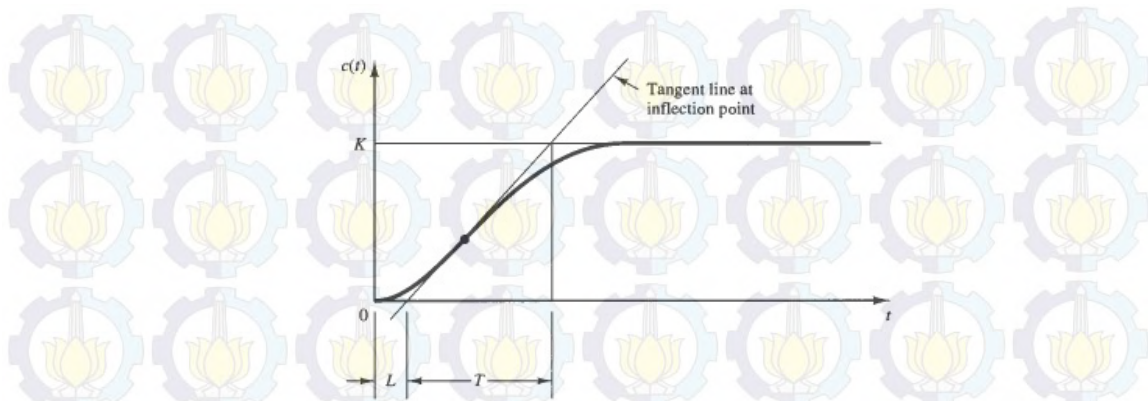
#### 1. Menaikkan nilai $K_P$

Percobaan pertama dengan menaikkan nilai  $K_P$  sebesar dua kali dari nilai awal yaitu sebesar 0,24, percobaan ini bertujuan untuk mengetahui respon kecepatan motor ketika terjadi perubahan nilai  $K_P$ . Hasil dari percobaan pertama ditunjukkan pada Gambar 3.11.

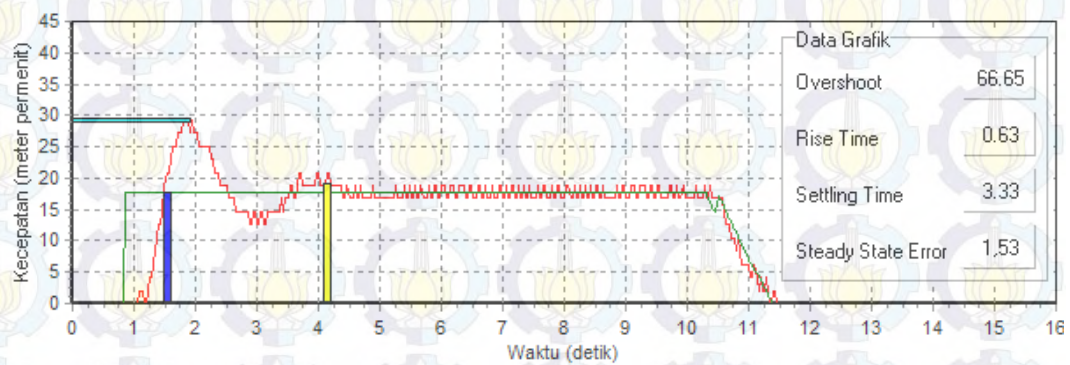
#### 2. Menaikkan nilai $T_I$

Percobaan dengan menaikkan nilai dari 0,3 dilakukan sebanyak dua kali, yaitu dengan nilai  $T_I$  sebesar 0,6 dan 1,5, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3.12 dan 3.13.

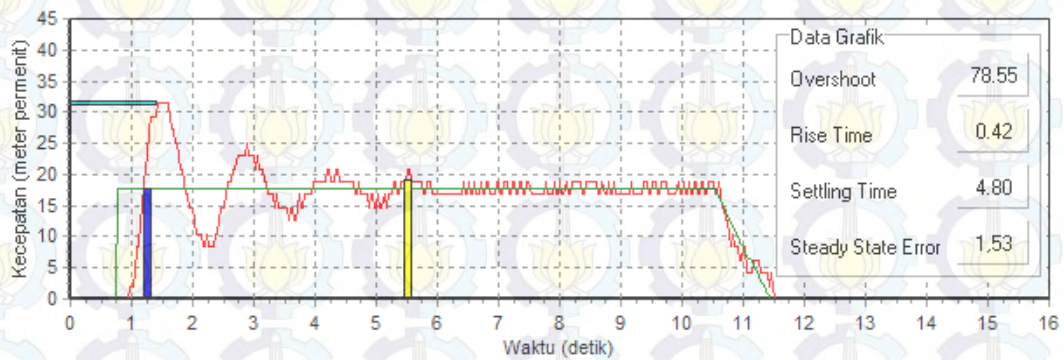




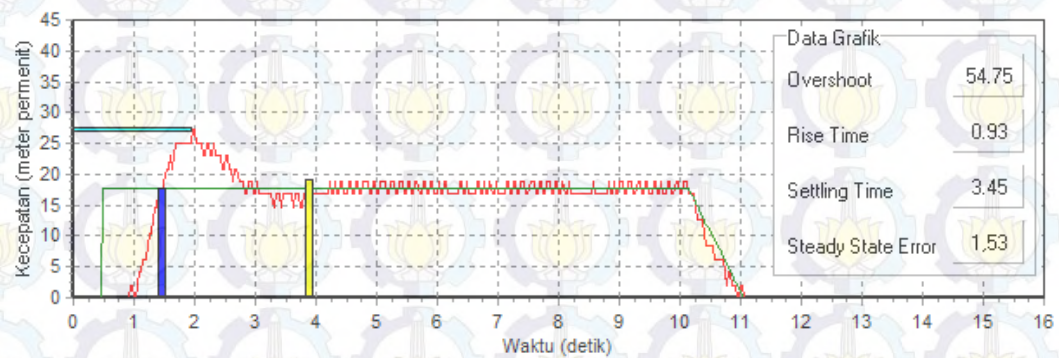
Gambar 3.9 Penentuan Parameter dengan Metode Ziegler Nichols



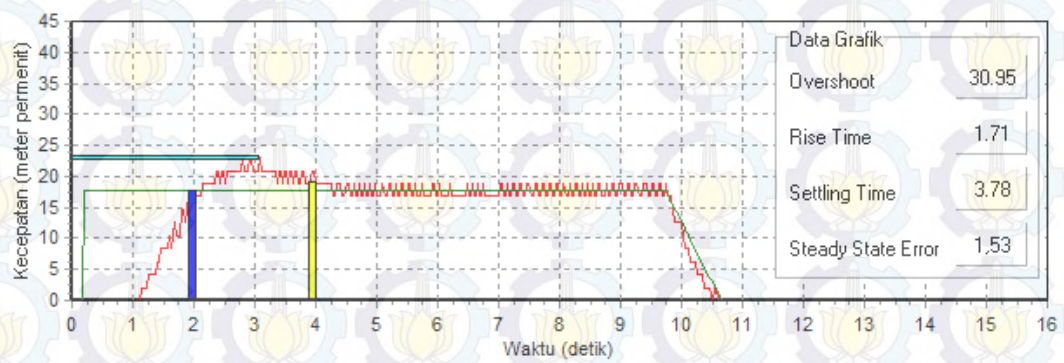
Gambar 3.10 Respon Motor Terhadap Perhitungan Parameter PID Ziegler Nichols



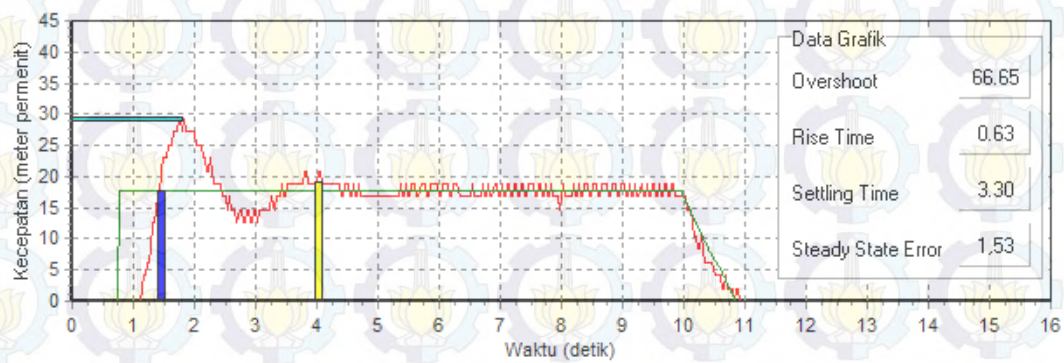
Gambar 3.11 Respon Motor dengan Nilai  $K_p = 0,24$



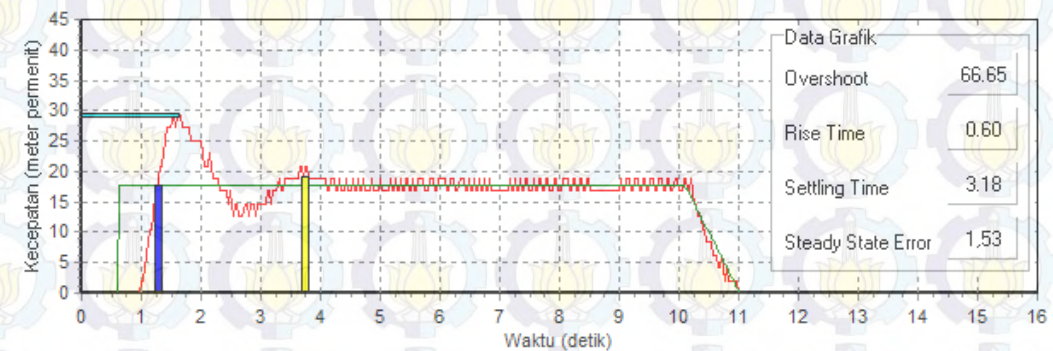
Gambar 3.12 Respon Motor dengan Nilai  $T_i = 0,6$



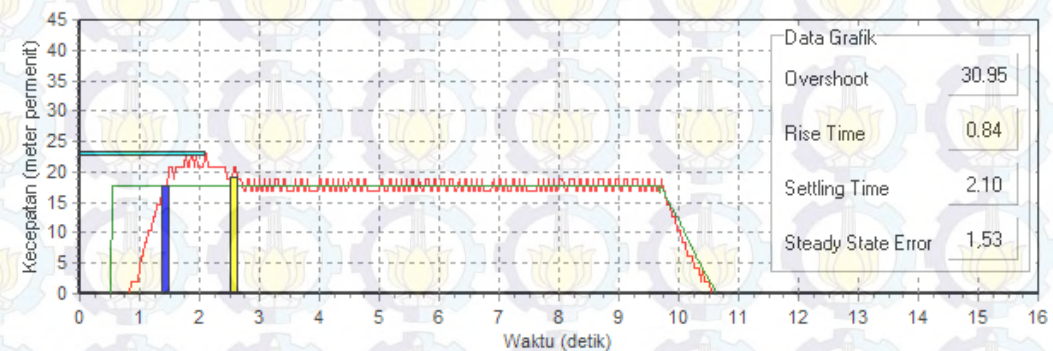
Gambar 3.13 Respon Motor dengan Nilai  $T_I = 1,5$



Gambar 3.14 Respon Motor dengan Nilai  $T_D = 0,15$



Gambar 3.15 Respon Motor dengan Nilai  $T_D = 0,75$

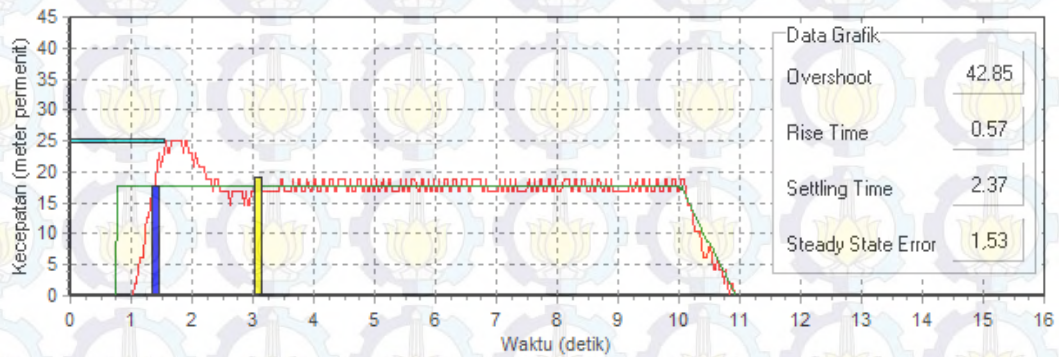


Gambar 3.16 Respon dengan Meningkatkan Nilai  $K_P$  5 Kali dan  $T_I$  10 Kali Nilai Awal

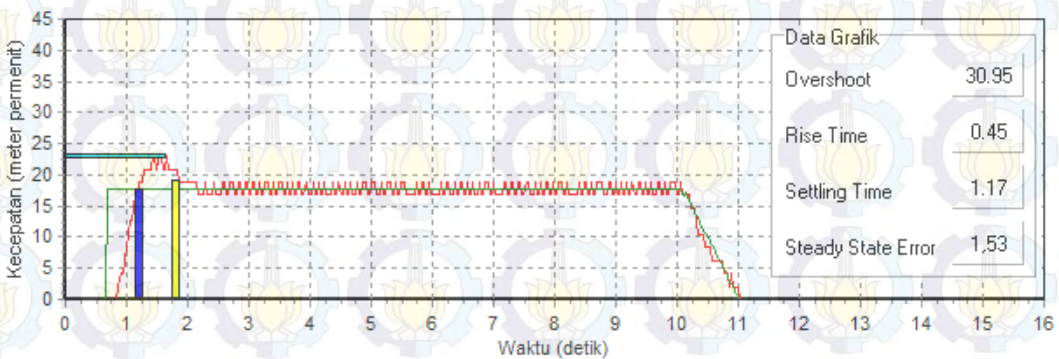


### 3. Menaikkan nilai $T_D$

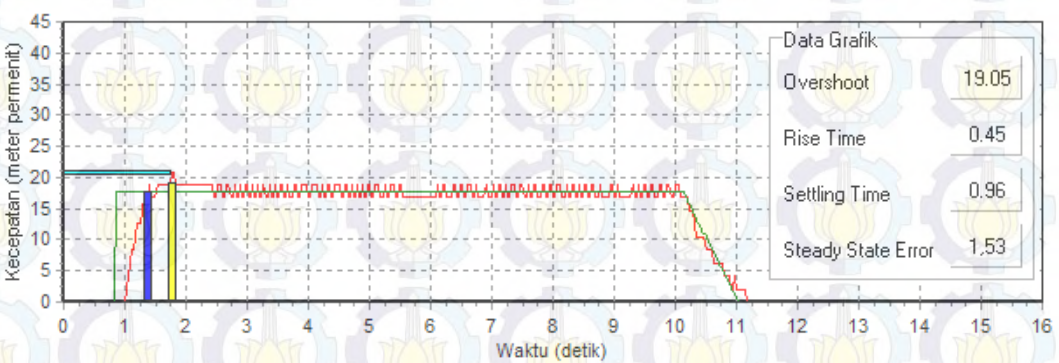
Percobaan dengan menaikkan nilai dari 0,075 dilakukan sebanyak dua kali, yaitu dengan nilai  $T_I$  sebesar 0,15 dan 0,75, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan 3.15.



Gambar 3.17 Percobaan dengan Menaikkan Nilai  $K_P$  dan  $T_I$  Sebanyak 5 Kali Nilai Awal



Gambar 3.18 Percobaan dengan Menaikkan Nilai  $K_P$  dan  $T_I$  Sebanyak 10 Kali Nilai Awal

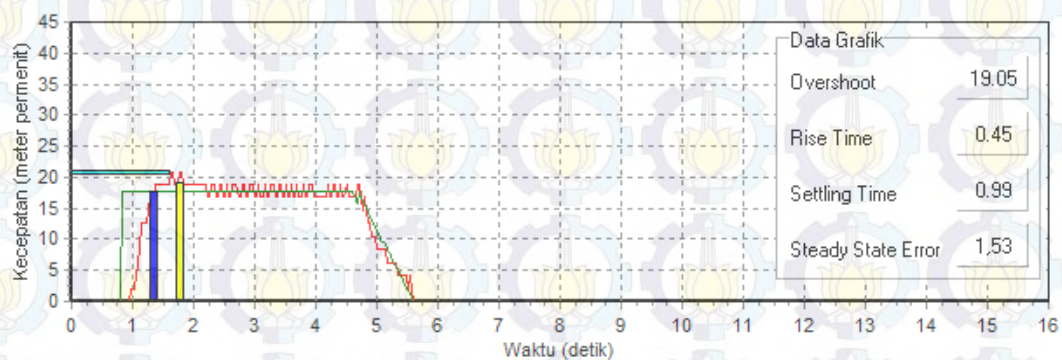


Gambar 3.19 Percobaan Tanpa Beban dengan Menaikkan Nilai  $K_P$  dan  $T_I$  Sebanyak 15 Kali Nilai Awal



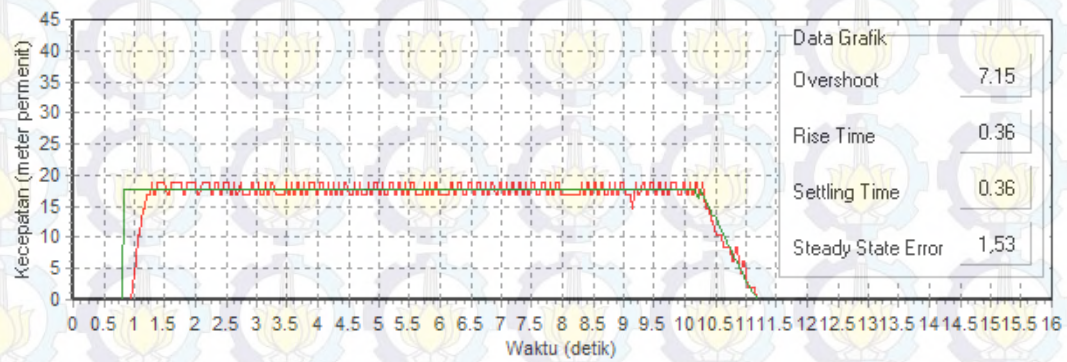
#### 4. Kombinasi Parameter

Didasarkan hasil percobaan dengan menaikkan nilai  $K_P$ ,  $T_I$  dan  $T_D$ , yang masing-masing memberi respon ketika nilai  $K_P$  dinaikkan sebesar dua kali, respon motor terhadap nilai rise time menjadi lebih cepat, akan tetapi membuat nilai settling time lebih besar, ketika nilai  $T_I$  dinaikkan perlahan memberikan respon dengan penurunan nilai *overshoot* akan tetapi memberikan perlambatan dibandingkan dengan respon awal sebelum ada perubahan nilai  $T_I$ , sedangkan perubahan besar terhadap nilai  $T_D$  hanya menghasilkan perubahan sedikit terhadap nilai *overshoot*. Dari beberapa percobaan sebelumnya, maka dilakukan percobaan lebih lanjut dengan menaikkan nilai  $K_P$  dan  $T_I$ . Kedua parameter tersebut dipilih berdasarkan responnya karena dengan sedikit dinaikkan sudah memberikan respon perubahan. Pertama nilai  $K_P$  dinaikkan 5 kali dari nilai awal sedangkan nilai  $T_I$  10 kali nilai awal, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3.16. Percobaan kedua dengan menaikkan nilai  $K_P$  dan  $T_I$  sebanyak 5 kali, hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.17. Percobaan ketiga dengan menaikkan nilai  $K_P$  dan  $T_I$  sebanyak 10 kali, hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.18, Percobaan keempat dengan menaikkan nilai  $K_P$  dan  $T_I$  sebanyak 15 kali dengan beban dan tanpa beban, hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.19 dan Gambar 3.20, dan percobaan terakhir dilakukan dengan menaikkan nilai  $K_P$  dan  $T_I$  sebanyak 20 kali dari nilai awal, dilakukan dengan beban dan tanpa beban, dan hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.21 dan 3.22.

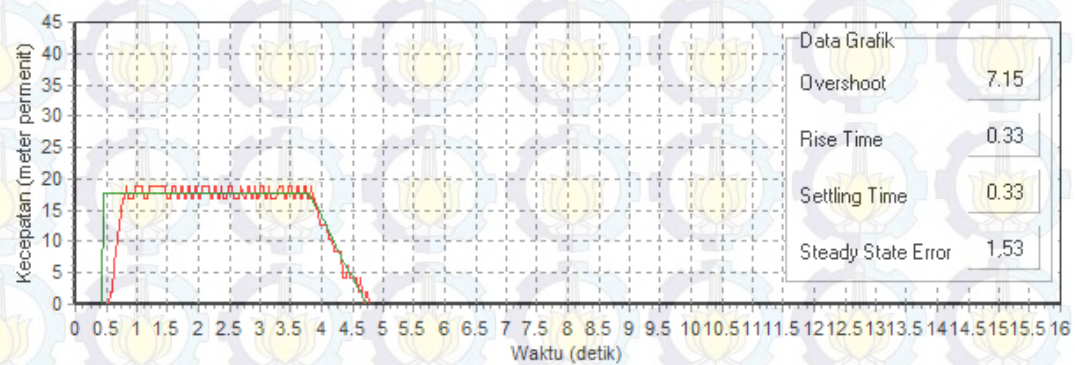


Gambar 3.20 Percobaan dengan Beban dan Menaikkan Nilai  $K_P$  dan  $T_I$  Sebanyak 15 Kali Nilai Awal





Gambar 3.21. Percobaan Tanpa Beban dengan Menaikkan nilai  $K_p$  dan  $T_i$  Sebanyak 20 Kali Nilai Awal



Gambar 3.22. Percobaan Dengan Beban dan Menaikkan Nilai  $K_p$  dan  $T_i$  Sebanyak 20 Kali Nilai Awal

Berdasarkan hasil percobaan maka dibuat tabel untuk mempermudah melihat hasil percobaan yang telah dilakukan, dari Tabel 3.3 menunjukkan bahwa nilai  $K_p = 2,4$ ,  $T_i = 6$  dan  $T_d = 0,075$  memiliki respon yang paling baik, dengan *overshoot* sebesar 7,15, sehingga parameter yang digunakan untuk pengujian lebih lanjut adalah parameter dengan nilai  $K_p = 2,4$ ,  $T_i = 6$  dan  $T_d = 0.075$ .

Tabel 3.3 Perbandingan Hasil Respon Motor

| No | Nilai<br>$K_P$ | Nilai<br>$T_I$ | Nilai<br>$T_D$ | <i>Overshoot</i><br>(%) | <i>Rise</i><br><i>Time</i> | <i>Settling</i><br><i>Time</i> | <i>Steady</i><br><i>state error</i> | Keterangan   |
|----|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 1  | 0,12           | 0,3            | 0,075          | 66,65                   | 0,63                       | 3,33                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 2  | 0,24           | 0,3            | 0,075          | 78,55                   | 0,42                       | 4,80                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 3  | 0,12           | 0,6            | 0,075          | 54,75                   | 0,93                       | 3,45                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 4  | 0,12           | 1,5            | 0,075          | 30,95                   | 1,71                       | 3,78                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 5  | 0,12           | 0,3            | 0,15           | 66,65                   | 0,63                       | 3,30                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 6  | 0,12           | 0,3            | 0,75           | 66,65                   | 0,60                       | 3,18                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 7  | 0,6            | 3              | 0,075          | 30,95                   | 0,84                       | 2,10                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 8  | 0,5            | 1,5            | 0,075          | 42,85                   | 0,57                       | 2,37                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 9  | 1,2            | 3              | 0,075          | 30,95                   | 0,45                       | 1,17                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 10 | 1,8            | 1,5            | 0,075          | 19,05                   | 0,45                       | 0,96                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 11 | 1,8            | 1,5            | 0,075          | 19,05                   | 0,45                       | 0,99                           | 1,53                                | Dengan beban |
| 12 | 2,4            | 6              | 0,075          | 7,15                    | 0,36                       | 0,36                           | 1,53                                | Tanpa beban  |
| 13 | 2,4            | 6              | 0,075          | 7,15                    | 0,33                       | 0,33                           | 1,53                                | Dengan beban |



## BAB 4

### PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pengujian dan analisa dilakukan untuk mengetahui fungsional tiap-tiap sub sistem yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan terdiri dari:

1. Pengujian parameter PID
2. Pengujian dasar
3. Pengujian pada jalan datar
4. Pengujian pada jalan menanjak dan menurun.

#### 4.1. Pengujian Parameter PID

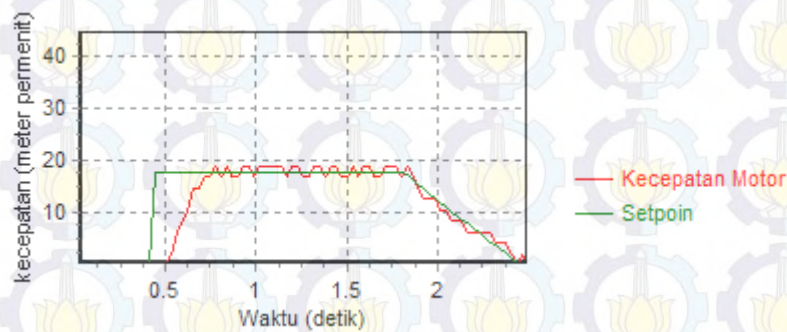
Pengujian parameter PID dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada jalan datar, jalan menanjak dan jalan menurun. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari kontrol PID yang telah dibuat.

1. Pengujian pada jalan datar

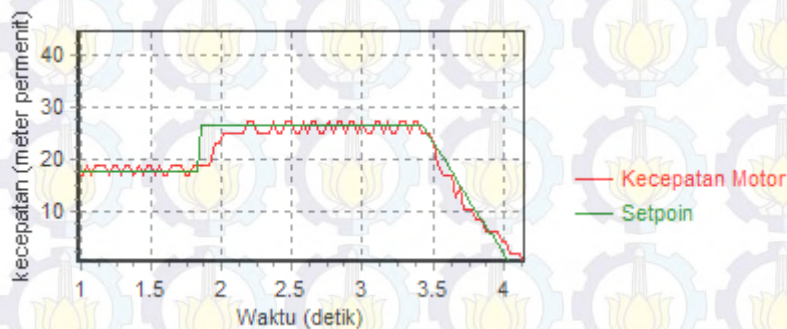
Pengujian pada jalan datar dilakukan sebanyak tiga kali, yang pertama adalah dengan memberi *set point* pada kecepatan 17,6 meter permenit, pengujian kedua dilakukan dengan menaikkan kecepatan dari 17,6 meter permenit menjadi 26,4 meter permenit dan yang terakhir adalah pengujian dengan menaikkan kecepatan dari 26,4 meter permenit menjadi 35,2 meter permenit, Gambar 41 (a) sampai dengan 41 (c) menunjukkan grafik respon perubahan kecepatan terhadap *set point* yang diberikan

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Datar

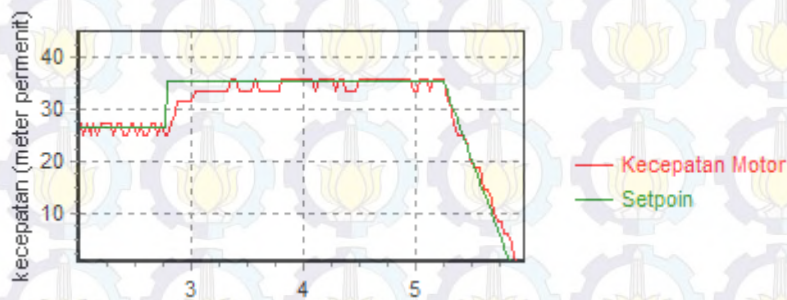
| <i>Set point</i><br>(meter permenit) | <i>Overshoot</i><br>(%) | <i>Rise Time</i><br>(detik) | <i>Settling Time</i><br>(detik) | <i>Steady state</i><br><i>error (%)</i> |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|
| 17,6                                 | 7,15                    | 0,27                        | 0,27                            | 7,15                                    |
| 26,4                                 | 3,17                    | 0,33                        | 0,33                            | 7,15                                    |
| 35,2                                 | 1,20                    | 0,57                        | 0,57                            | 4,83                                    |



(a)



(b)

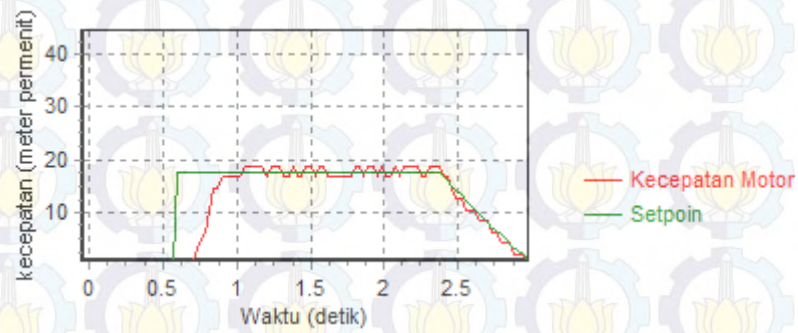


(c)

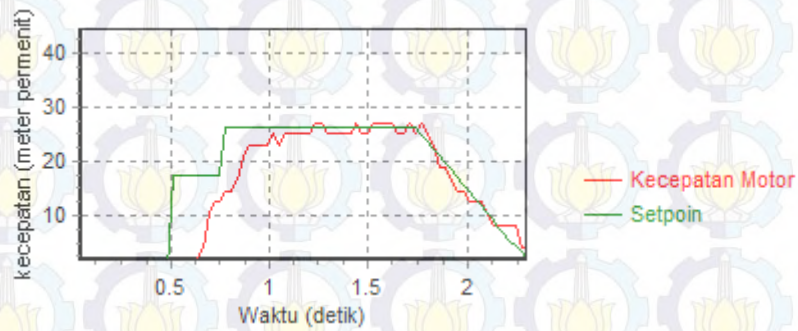
Gambar 4.1 Pengujian Parameter PID pada Jalan Datar (a) Pengujian untuk *Set Point* 17,6 Meter Permenit (b) Pengujian untuk *Set Point* dari 17,6 Meter Permenit ke 26,4 Meter Permenit (c) Pengujian untuk *Set Point* dari 26,4 Meter Permenit ke 35,2 Meter Permenit

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.1. dengan nilai *overshoot* tertinggi pada pemberian *set point* 17,6 meter permenit dengan nilai *overshoot* sebesar 7,15 %, akan tetapi untuk waktu yang dibutuhkan dalam mencapai *steady state* paling lama ketika memberikan *set point* 35,2 meter permenit, dengan waktu 0,57 detik untuk mendapatkan keadaan *steady state*.

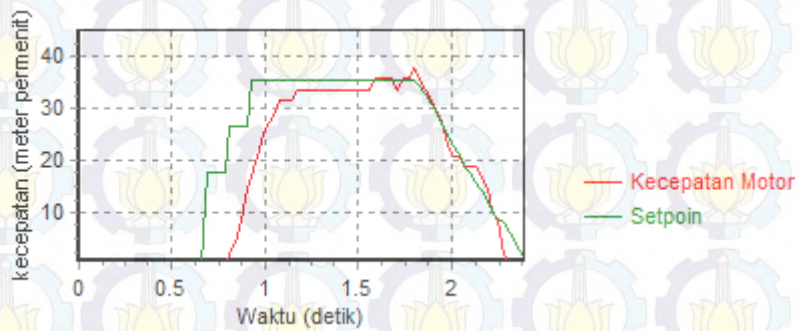




(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Pengujian Parameter PID pada Jalan Menanjak (a) Pengujian untuk *Set Point* 17,6 Meter Permenit (b) pengujian untuk *Set Point* 26,4 Meter Permenit (c) Pengujian untuk *Set Point* 35,2 Meter Permenit

## 2. Pengujian pada jalan menanjak

Pengujian pada jalan menanjak bertujuan untuk mengetahui respon motor terhadap *set point* yang diberikan ketika di jalan menanjak. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu dengan *set point* masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit. Pada pengujian di jalan

menanjak, pengujian dilakukan dengan cara menaikkan kecepatan tanpa harus menunggu *steady state* pada kecepatan sebelumnya. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.2. pada gambar tersebut menunjukkan respon kecepatan motor terhadap *set point* yang telah ditentukan.

Pengujian pada jalan menanjak mendapatkan hasil seperti pada Tabel 4.2. Tabel tersebut menjelaskan pengujian parameter PID, dengan nilai *overshoot* tertinggi di dapat ketika memberikan *set point* 17,6 meter permenit dan 35,2 meter permenit dengan nilai *overshoot* sebesar 7,15 %, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk *steady state* yang paling lama adalah ketika memberikan *set point* 35,2 meter permenit dengan lama waktu 0,66 detik.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Menanjak

| <i>Set point</i><br>(meter permenit) | <i>Overshoot</i><br>(%) | <i>Rise Time</i><br>(detik) | <i>Settling Time</i><br>(detik) | <i>Steady state</i><br><i>error</i> (%) |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|
| 17,6                                 | 7,15                    | 0,30                        | 0,30                            | 7,15                                    |
| 26,4                                 | 3,17                    | 0,45                        | 0,45                            | 7,15                                    |
| 35,2                                 | 7,15                    | 0,66                        | 0,66                            | 4,83                                    |

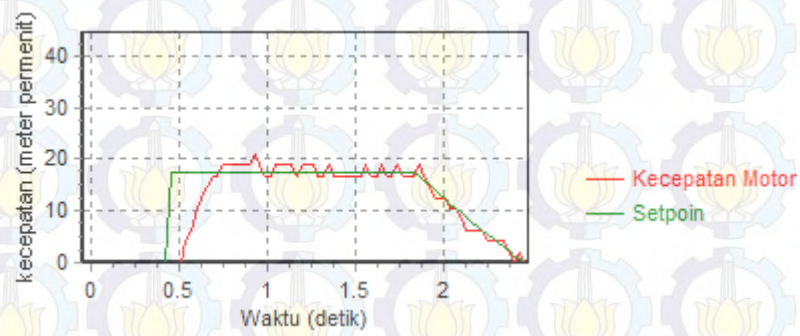
### 3. Pengujian pada jalan menurun

Pengujian pada jalan menurun dilakukan dengan prosedur seperti pada pengujian di jalan menanjak, yaitu dengan menaikkan kecepatan tanpa harus menunggu keadaan *steady state* pada *set point* sebelumnya. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali yaitu dengan *set point* masing-masing sebesar 17,6 meter permenit, 26,4 meter permenit dan 35,2 meter permenit. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.2.

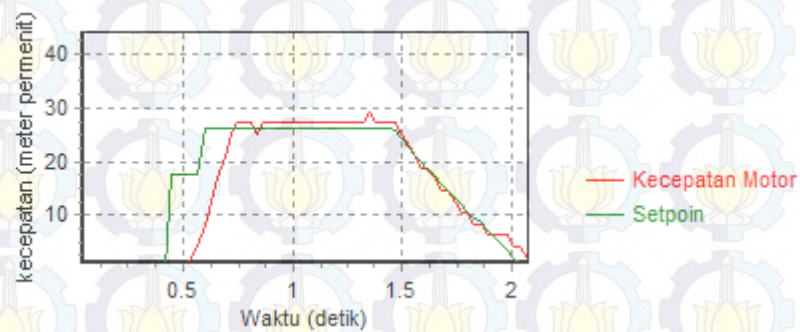
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Parameter PID pada Jalan Menurun

| <i>Set point</i><br>(meter permenit) | <i>Overshoot</i><br>(%) | <i>Rise Time</i><br>(detik) | <i>Settling Time</i><br>(detik) | <i>Steady state</i><br><i>error</i> (%) |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---|
| 17,6                                 | 19,5                    | 0,24                        | 0,24                            | 7,15                                    |
| 26,4                                 | 11,10                   | 0,15                        | 0,15                            | 7,15                                    |
| 35,2                                 | 1,20                    | 0,21                        | 0,21                            | 4,83                                    |

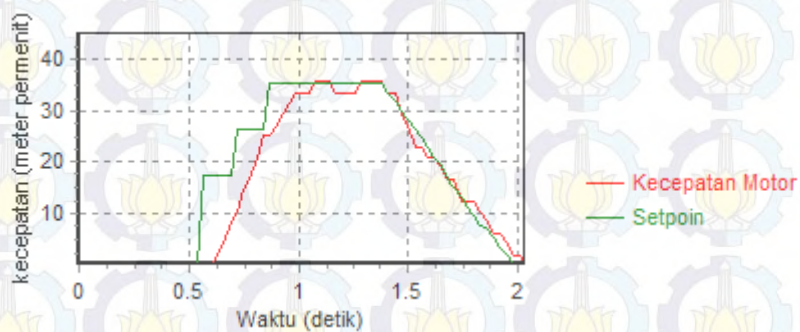




(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Pengujian Parameter PID pada Jalan Menurun (a) Pengujian untuk *Set Point* 17,6 Meter Permenit (b) Pengujian untuk *Set Point* 26,4 Meter Permenit (c) Pengujian untuk *Set Point* 35,2 Meter Permenit

Pengujian pada jalan menanjak mendapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3. Tabel tersebut menjelaskan pengujian parameter PID, dengan nilai *overshoot* tertinggi di dapat ketika memberikan *set point* 17,6 meter permenit dengan nilai *overshoot* sebesar 19,5 %, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk *steady state* yang paling lama juga terjadi pada *set point* 17,6 meter permenit dengan lama waktu 0,24 detik.



## 4.2. Pengujian Dasar.

Pengujian dasar dilakukan dengan dua cara yaitu melihat respon perubahan hasil pengujuran impedansi otot trapezius dan memberi perintah kontrol gerak kursi roda secara dinamis. Pengujian pertama bertujuan untuk mengetahui perspon perintah kontrol terhadap perubahan impedansi pada otot trapezius, dengan cara menggerakkan bahu kanan dan bahu kiri secara bergantian, keluaran dari instrumentasi *bioimpedance* harus melebihi batas *threshold* sehingga dapat diartikan sebagai perintah kontrol. Gambar 4.4. (a) dan 4.4. (b) menunjukkan hasil pengukuran impedansi otot trapezius dengan cara memberi *trigger* sebanyak 3 kali baik pada bahu kanan maupun bahu kiri. Pengujian secara dinamis dilakukan dengan menaiki kursi roda dan memberikan perintah kontrol untuk menggerakkan kursi roda. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima gerakan, gerakan tersebut adalah belok kanan, belok kiri, Putar kanan, Putar kiri dan maju. Masing masing gerakan tersebut dilakukan sebanyak dua puluh kali percobaan. Subjek pada pengujian jalan datar adalah lima orang. Hasil pengujian secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.4.

### 1. Pengujian gerakan belok kiri

Gerakan pertama yang di lakukan pengujian adalah gerakan belok kanan, cara pengujiannya dengan mengarahkan bahu kanan kedepan, selanjutnya menunggu respon dari kursi roda. Pengujian gerakan belok kiri dilakukan sebanyak dua puluh kali.

### 2. Pengujian gerakan belok kanan

Gerakan kedua yang di lakukan pengujian adalah gerakan belok kiri, cara pengujiannya dengan mengarahkan bahu kiri kedepan, selanjutnya menunggu respon dari kursi roda. Pengujian gerakan belok kanan dilakukan sebanyak dua puluh kali.

### 3. Pengujian gerakan putar kiri

Gerakan ketiga yang di lakukan pengujian adalah gerakan putar kiri, cara pengujiannya dengan mengarahkan bahu kanan kedepan, selanjutnya menunggu respon dari kursi roda hingga kursi roda berputar kurang lebih 360°. Pengujian gerakan putar kiri dilakukan sebanyak dua puluh kali.

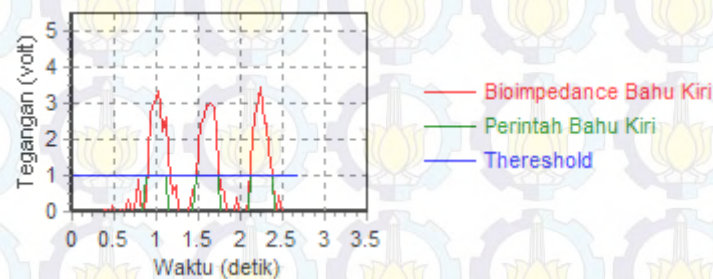


4. Pengujian gerakan putar kanan

Gerakan keempat yang di lakukan pengujian adalah gerakan putar kanan, cara pengujiannya dengan mengarahkan bahu kiri kedepan, selanjutnya menunggu respon dari kursi roda hingga kursi roda berputar kurang lebih  $360^\circ$ . Pengujian gerakan putar kanan dilakukan sebanyak dua puluh kali.

5. Pengujian gerakan maju

Gerakan terakhir yang di lakukan pengujian adalah gerakan maju, gerakan maju dilakukan pada kecepatan 1 dengan setpoint sebesar 17,6 meter permenit, cara pengujiannya dengan mengarahkan bahu kanan dan kiri kedepan selanjutnya diturunkan secara bersama sama dan menunggu respon dari kursi roda hingga kursi roda berjalan. Pengujian gerakan maju dilakukan sebanyak dua puluh kali.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Instrumentasi *Bioimpedance* (a) Perubahan Impedansi pada Bahu Kiri Saat Digerakkan Secara *Trigger* Sebanyak Tiga Kali (b) Perubahan Impedansi pada Bahu Kanan saat Digerakkan Secara *Trigger* Sebanyak Tiga Kali.



Tabel 4.4 Hasil Pengujian Dasar Terhadap Lima Subjek

| No | Nama Subjek             | Berat badan (kg) | Persentase keberhasilan (%) |             |            |             |      |
|----|-------------------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------|
|    |                         |                  | Belok kiri                  | Belok kanan | Putar kiri | Putar kanan | Maju |
| 1  | Achmad Nur Aliansyah    | 55               | 100                         | 95          | 100        | 100         | 85   |
| 2  | Arizal Mujibtamala N. I | 61               | 100                         | 100         | 100        | 100         | 90   |
| 3  | Fathurrozi Winjaya      | 45               | 100                         | 100         | 100        | 100         | 80   |
| 4  | Gamma Aditya            | 67               | 100                         | 100         | 100        | 100         | 85   |
| 5  | Wahyu Muldayani         | 50               | 100                         | 100         | 100        | 100         | 85   |

#### 4.3. Pengujian pada Jalan Datar

Pengujian dilakukan dengan menjalankan kursi roda secara kontinyu dengan kombinasi gerakan maju, belok kanan dan belok kiri. Kombinasi kecepatan untuk pengujian di tunjukkan seperti Gambar 4.5, dimana pertama kursi roda di gerakkan maju dengan kecepatan 1 kemudian berhenti, selanjutnya belok kiri dan berhenti, kemudian kursi roda kembali bergerak maju dengan kecepatan 1 dan berhenti, setelah berhenti kursi roda bergerak belok kiri dan berhenti, setelah berhenti kursi roda bergerak dengan kecepatan 1 untuk beberapa saat dan di naikkan bertahap hingga kecepatan 3 dan berhenti, setelah berhenti kursi roda kembali berbelok ke kanan dan berhenti, setelah berhenti dilanjutkan dengan gerakan maju dengan kecepatan 1 dan berhenti untuk berbelok ke kanan, setelah berbelok kursi roda bergerak dengan kecepatan 1 dan berhenti, selanjutnya bergerak lagi dengan kecepatan 2 dan berhenti dan yang terakhir kursi roda bergerak dengan kecepatan 3 dan berhenti.

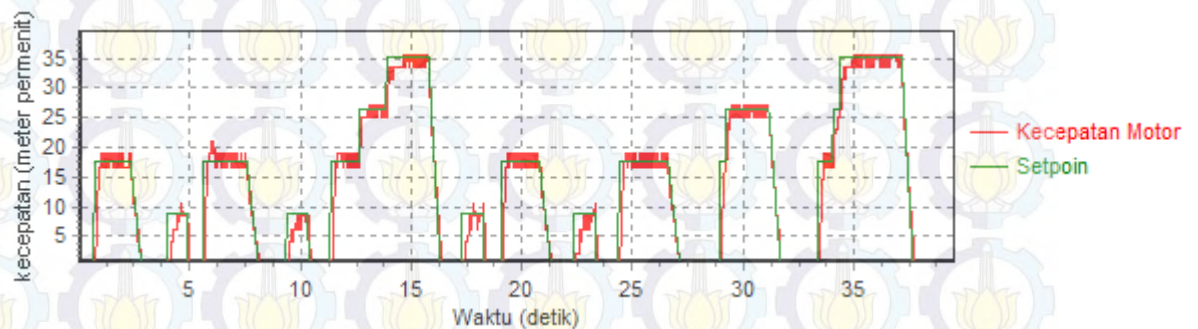
Pengujian kontinyu dilakukan dengan lima subjek, masing masing subjek melakukan menggerakkan kursi roda seperti pada Gambar 4.5 sebanyak dua puluh kali, hasil pengujian di tunjukkan pada Tabel 4.5, dan salah satu grafik perintah kontrol dan kecepatan kursi roda di tunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. pada pengujian ini terdapat lebih banyak kegagalan dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, kegagalan pada pengujian di jalan datar dikatenakan faktor suhu dan faktor kelelahan subjek, suhu yang tinggi membuat subjek berketingat



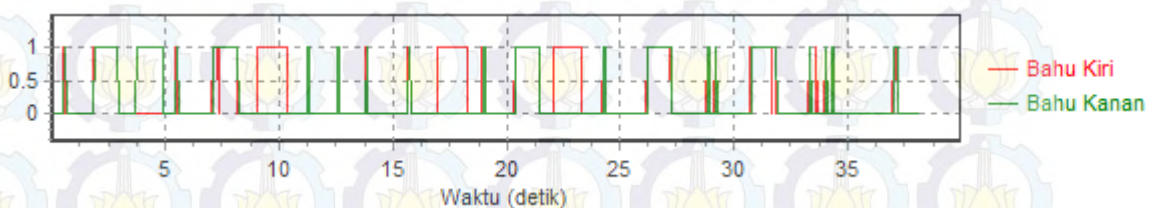
dan kinerja elektroda kurang maksimal. Selain faktor suhu terdapat juga faktor kelelahan yang memberi efek pada melemahnya respon instrumentas bioimpedance terhadap gerakan bahu.



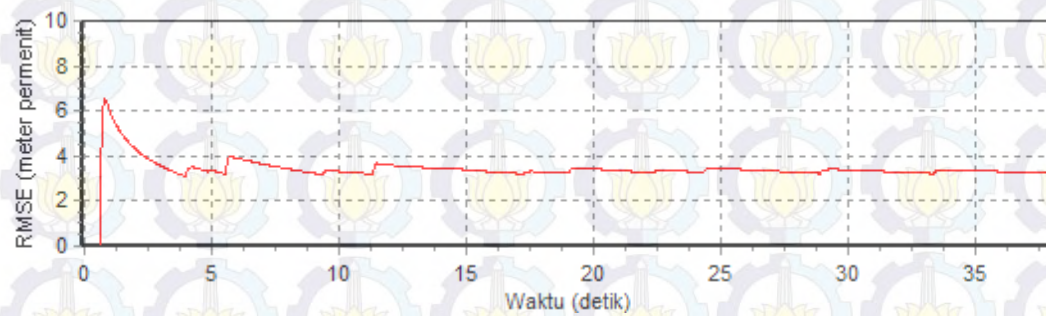
Gambar 4.5 Skema Pengujian



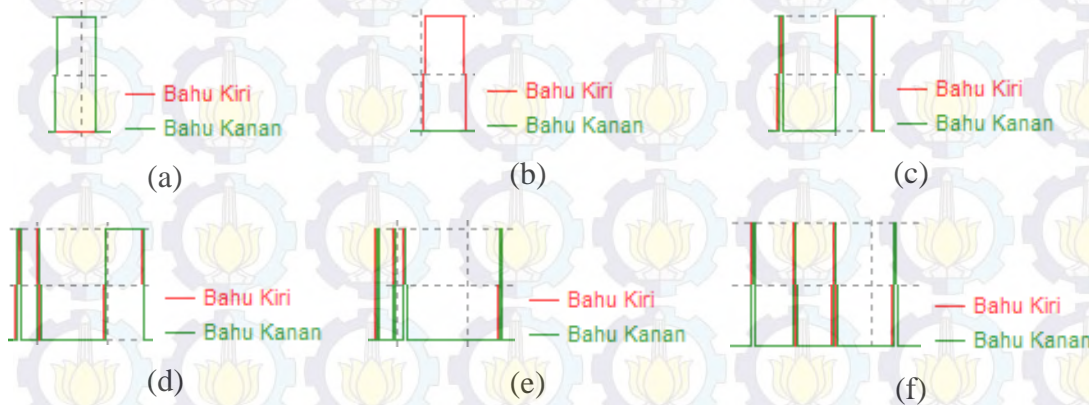
Gambar 4.6 Grafik Setpoin dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian Pada Jalan Datar.



Gambar 4.7 Perintah Kontrol saat Pengujian pada Jalan Datar.



Gambar 4.8 RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap *Set Point* saat Pengujian pada Jalan Datar



Gambar 4.9 Perintah kontrol (a) Belok Kiri (b) Belok Kanan (c) Kecepatan 1 dan Berhenti (d) Kecepatan 2 dan Berhenti (e) Kecepatan 3 dan Berhenti (f) *Step* Kecepatan 1, 2, 3 dan Berhenti.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian pada Jalan Datar

| No | Nama Subjek             | Berat badan<br>(Kg) | Persentase<br>keberhasilan (%) |
|----|-------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1  | Achmad Nur Aliansyah    | 55                  | 80                             |
| 2  | Arizal Mujibtamala N. I | 61                  | 75                             |
| 3  | Fathurrozi Winjaya      | 45                  | 80                             |
| 4  | Gamma Aditya            | 67                  | 75                             |
| 5  | Wahyu Muldayani         | 50                  | 75                             |

Secara keseluruhan perintah kontrol dan respon kecepatan kursi roda di tunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Sedangkan penjelasan untuk



masing-masing gerakan dasar di tunjukkan pada Gambar 4.9 (a) sampai dengan 4.9 (f). Gambar 4.9. (a) menggambarkan grafik perintah kontrol untuk gerakan belok kiri, dimana untuk mendapatkan perintah belok kiri maka bahu kanan di gerakkan maju dan di tahan selama gerakan belok kiri terjadi, begitu sebaliknya untuk perintah kontrol gerakan belok kanan yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. (b) Sedangkan Gambar 4.9 (c) sampai dengan Gambar 4.9. (d) menunjukkan perintah kontrol untuk masing masing gerakan maju dengan kecepatan 1, kecepatan 2 dan kecepatan 3, dimana masing masing tingkatan mempunyai kecepatan sebesar 8,8 meter permenit untuk berbelok baik kanan maupun kiri dengan putaran roda sebesar 10 rotasi permenit, 17,6 meter permenit untuk kecepatan 1 dengan putaran roda sebesar 20 rotasi permenit, 26,4 meter permenit untuk kecepatan 2 dengan putaran roda sebesar 30 rotasi permenit dan 35,2 meter permenit dengan putaran roda sebesar 40 rotasi permenit. Gambar 4.9. (f) menunjukkan perintah kontrol gerakan maju dengan kecepatan yang naik secara bertahap dari kecepatan 1 ke kecepatan 3.

#### **4.4. Pengujian pada Jalan Menanjak**

Pengujian jalan menanjak dilakukan di depan gedung pusat robotika yang memiliki jalan untuk menanjak seperti yang di gambarkan pada Gambar 4.10, dengan lebar 1,25 meter seperti Gambar 4.11. Skema secara detail lintasan pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.12 dengan lebar lintasan 1,25 meter, dimana terdapat dua buah jalan dengan kemiringan yang berbeda dan panjang lintasan yang berbeda juga.

Pengujian dilakukan dengan kecepatan 1 hingga kecepatan 3 pada lintasan dengan panjang 8,5 meter dan lebar 1,25 meter, sedangkan saat melintasi jalan dengan panjang 3 meter subjek hanya menggunakan kecepatan 1 dikarenakan jalannya yang pendek. Subjek pada pengujian di perbolehkan menggunakan kecepatan hingga maksimal dengan catatan tidak menabrak pagar pembatas. Kendala yang dialami saat pengujian adalah kendala suhu dan kelelahan pada otot bahu. Suhu yang panas mengakibatkan subjek berkeringat yang akhirnya mengganggu kinerja dari elektroda yang ditempel pada bagian bahu, terdapat juga faktor kelelahan pada subjek sehingga saat mengerakkan bahu nilai tegangan yang



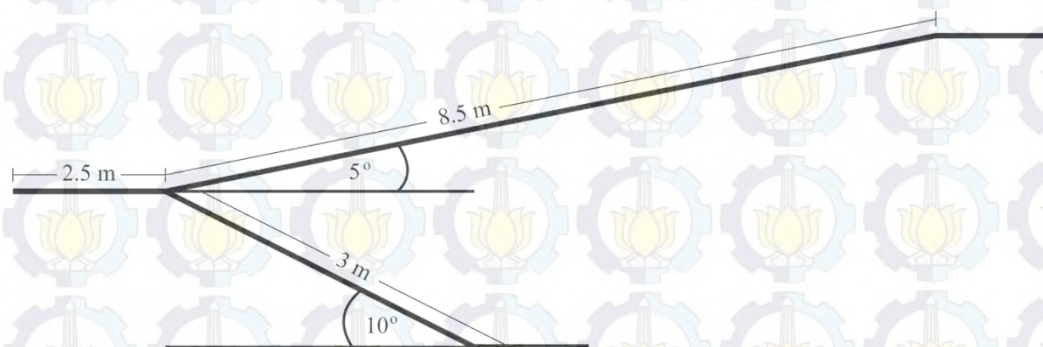
terukur tidak mencapai batas *threshold* sehingga tidak menghasilkan perintah kontrol.



Gambar 4.10 Foto Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda



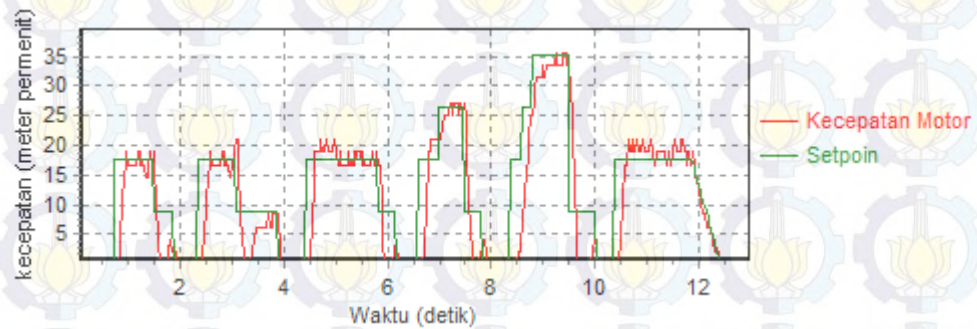
Gambar 4.11 Foto Lebar Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda



Gambar 4.12 Skema Lintasan untuk Pengujian Kursi Roda



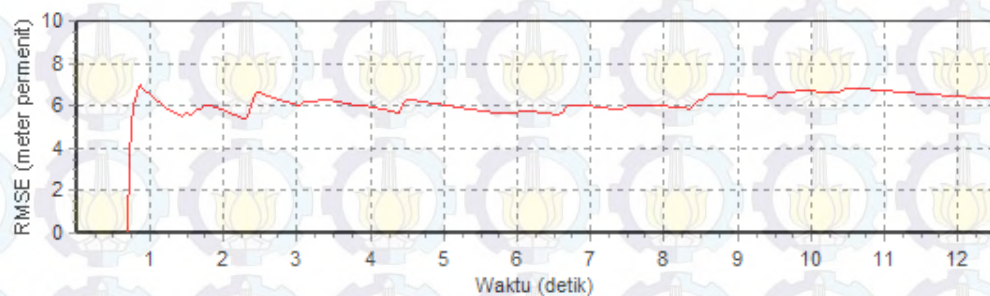
Berdasarkan pengujian yang dilakukan, tidak ada subjek yang berhasil seratus persen saat melintasi jalan naik maupun jalan turun, hal tersebut dikarenakan faktor kelelahan pada otot dan keringan yang mengakibatkan elektroda tidak dapat menempel dengan baik sehingga mempengaruhi respon sistem terhadap pergerakan otot. Hasil pengujian pemberian perintah kontrol untuk jalan menanjak di tunjukkan pada Tabel 4.6 dan hasil grafik pengujian kecepatan untuk jalan menanjak ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan perintah kontrol yang diberikan selama pengujian, sedangkan besar eror antara kecepatan kursi roda elektrik dan *set point* yang diberikan selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.15, dari grafik RMSE menunjukkan kesalahan selama pengujian sebesar 6,32 meter permenit.



Gambar 4.13 Grafik *Set point* dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian pada Jalan Menanjak



Gambar 4.14 Perintah Kontrol saat Pengujian pada Jalan Menanjak



Gambar 4.15 RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap *Set Point* saat Pengujian pada Jalan Tanjalan



Tabel 4.6 Hasil Pengujian Perintah Kontrol pada Jalan Menanjak.

| No | Nama                    | Umur<br>(tahun) | Tinggi<br>badan (cm) | Berat<br>badan (kg) | Persentase<br>keberhasilan (%) |
|----|-------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1  | Achmad Nur Aliansyah    | 22              | 55                   | 165                 | 75                             |
| 2  | Arizal Mujibtamala N. I | 24              | 61                   | 169                 | 80                             |
| 3  | Fathurrozi Winjaya      | 24              | 45                   | 168                 | 80                             |
| 4  | Gamma Aditya            | 24              | 67                   | 173                 | 70                             |
| 5  | Wahyu Muldayani         | 27              | 50                   | 170                 | 75                             |

#### 4.5. Pengujian pada Jalan Menurun

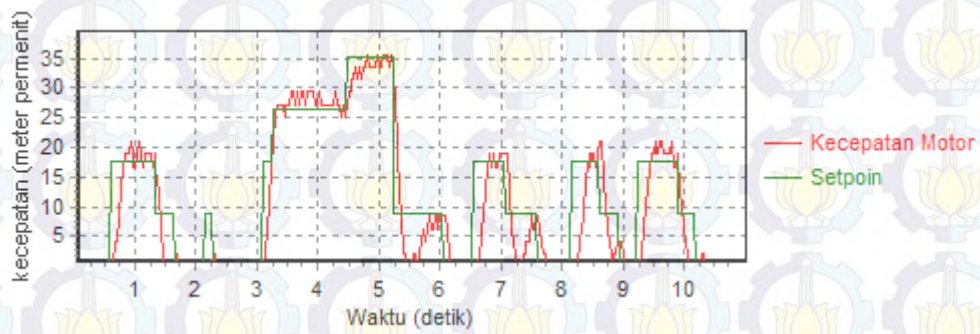
Pengujian pada jalan menurun dilakukan sama seperti prosedur yang dilakukan pada pengujian jalan menanjak. Hasil pengujian pemberian perintah kontrol untuk jalan menurun di tunjukkan pada Tabel 4.7 dan hasil grafik pengujian kecepatan untuk jalan menurun ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 menunjukkan perintah kontrol yang diberikan selama pengujian, sedangkan besar eror antara kecepatan kursi roda elektrik dan *set point* yang diberikan selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.18, dari grafik RMSE menunjukka kesalahan selama pengujian sebesar 5,10 meter permenit.

berdasarkan dari grafik hasil pengujian baik pada jalan menanjak maupun jalan menuru didapat bahwa kursi roda dapat diberikan perintah berbelok ketika sedang berjalan maju, Gambar 4.17 pada detik ke-6 menunjukkan perubahan *set point* dari perintah maju ke perintah belok, pada grafik tersebut menjelaskan bahwa ketika perintah belok diberikan maka kursi roda akan merespon dengan berhenti lalu kursi roda elektrik berbelok sesuai dengan perintah belok yang diberikan.

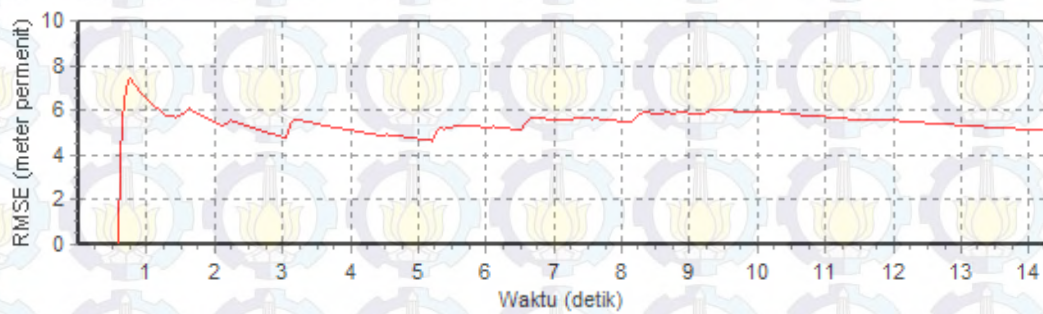


Gambar 4.16 Perintah Kontrol saat Pengujian pada Jalan Menurun.





Gambar 4.17 Grafik *Set Point* dan Kecepatan Kursi Roda saat Pengujian pada Jalan Menurun.



Gambar 4.18 RMSE Kecepatan Kursi Roda Terhadap *Set Point* saat Pengujian pada Jalan Menurun.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian pada Jalan Menurun

| No | Nama                    | Berat badan (kg) | Persentase keberhasilan (%) |
|----|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| 1  | Achmad Nur Aliansyah    | 165              | 75                          |
| 2  | Arizal Mujibtamala N. I | 169              | 80                          |
| 3  | Fathurrozi Winjaya      | 168              | 75                          |
| 4  | Gamma Aditya            | 173              | 75                          |
| 5  | Wahyu Muldayani         | 170              | 75                          |





## BAB 5 PENUTUP

Dari hasil perancangan, pembuatan, pengujian dan analisa sistem pada penelitian dengan judul “Pengaturan Kecepatan Gerak Kursi Roda Saat Melintasi Jalan Menanjak dan Menurun Berbasis *Subject Intention Variable Speed* Menggunakan Sinyal *Bioelectrical Impedance*”, penulis mendapatkan kesimpulan serta memberikan saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

### 5.1. Kesimpulan

Penelitian ini memanfaatkan sinyal bioimpedance sebagai perintah kontrol untuk menggerakkan kursi roda pada jalan menanjak dan menurun, realisasi perintah kontrol menggunakan bioimpedance ditunjukkan dengan rata-rata keberhasilan pemberian perintah kontrol pada pengujian jalan datar sebesar 77% dan 76% untuk jalan menanjak maupun menurun, pengujian dilakukan pada 5 orang subjek normal, dengan masing-masing subjek melakukan 20 kali percobaan. Kesesuaian antara keinginan subjek untuk menggerakkan kursi roda dengan kecepatan gerak kursi roda ditunjukkan dengan *root mean square error* antara *set point* dengan kecepatan kursi roda elektrik saat dilakukan pengujian, RMSE untuk pengujian pada jalan datar sebesar 3,24 meter permenit, sedangkan pada pengujian di jalan menanjak maupun menurun masing-masing sebesar 6,32 meter permenit untuk jalan menanjak dan 5,10 meter permenit untuk jalan menurun. Sedangkan untuk persentase RMSE kecepatan kursi roda terhadap rata-rata *set point* selama pengujian sebesar 0,24 % pada pengujian di jalan datar, 0,5 % pada pengujian di jalan menanjak dan 0,57 % pada pengujian di jalan menurun.

### 5.2. Saran

Stimulasi arus yang dilakukan secara terus menerus memberi efek kelelahan pada otot. Sehingga diperlukan sistem lain untuk solusi kelelahan otot, sistem tersebut dapat berupa hybrid dengan sistem lain, sehingga ketika kelelahan otot terjadi, maka sistem lain akan berkerja.



## DAFTAR PUSTAKA

Ermado, Rico. "*Aplikasi Bioelectrical Impedance Sebagai Perintah Kontrol Gerakan Pada Kursi Roda Elektrik*", Tugas Akhir., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. 2012.

Sardi, Juli. "*Pengembangan Bioelectrical Impedance Sebagai Control Command Pengaturan Kecepatan Gerak Kursi Roda Dengan Metoda Kontrol Hirarki*", Tesis., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. 2013.

Seki, Hirokazu and Kiso, Atsushi. "*Disturbance Road Adaptive Driving Control of Power-Asisted Wheelchair Using Fuzzy Inference*". IEEE No.978-1-4244-4122-8/11. 2011

S.Grimes and G.Martinsen. "*Bioimpedance & Bioelectricity, Basics*". Academic Press. 2000.

Penyebab kelumpuhan. [www.news-medical.net](http://www.news-medical.net). diakses tanggal 20 februari 2014.

Tabuenca, Javier Gracia. "*Multichannel Bioimpedance Measuremet, Master science Thesis*". Tampere University Of Technology. 2009.

Webster, J. G. "*Medical Instrumentation: Application & Design. 3rded*". John Wiley. 1998.

Widyotriatmo, Augie. dkk. "*A Modified PID Algortm for Dynamic Control of an Automatic Wheelchair*". IEEE Conference on Control, System and Industrial Informatics (ICCSII). 2012

Yunfei, Huang . "*Development of A Bioimpedance-Based Human Machine Interface for Wheelchair Control*". IEEE No.978-1-4244-3388-9/09. 2009.



## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Arizal Mujibtamala Nanda Imron dilahirkan di Mojokerto, 22 September 1991. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Drs. Ahmad Imron, M.Pd dan Ibu Drs. Endang Setijowati. Penulis memulai pendidikan di MI-Bustanus Shibyan (1996-2002). Kemudian melanjutkan di SLTP Negeri 03 Mojokerto (2002-2005). Penulis menempuh jenjang pendidikan selanjutnya di SMA Negeri 1 Sooko, Mojokerto (2005-2008). Pada tahun 2008 penulis diterima di Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Jember dan menyelesaikan studi sarjana pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan studi tahap Sarjana, penulis meneruskan pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada bidang keahlian Elektronika. Penulis telah melaksanakan sidang Tesis pada tanggal 7 Januari 2016. Penulis dapat dihubungi melalui email: [nanda13@mhs.ee.its.ac.id](mailto:nanda13@mhs.ee.its.ac.id).